



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Diseño y evaluación de la efectividad de una propuesta didáctica de conocimientos fundamentales de biología para educación secundaria.

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
BIÓLOGO**

P R E S E N T A:

Martín A. Morales Olea

ASESORA

M. en C. Eréndira Álvarez Pérez



CIUDAD UNIVERSITARIA

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres con todo mi cariño.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora, Eréndira Álvarez por compartirme parte de su visión sobre la importancia de la enseñanza de la biología, por su confianza y guía para dar forma a mis ideas.

A Toño Ordóñez por las enseñanzas sobre las realidades en nuestro país y el apoyo para encontrar caminos por donde pudieran circular las ideas.

A Silvia Zamora por mostrarme que es indispensable luchar por lo que se piensa.

A mis sinodales Ricardo Noguera, Ofelia Contreras, Jorge González y Alicia Martínez por sus comentarios para terminar de dar forma a este trabajo.

A la UNAM. Porque la conclusión de este trabajo representa el fin de un ciclo en la espiral en el que he conocido muchas personas que me han ayudado a construir lo que soy.

A mis padres por su inagotable apoyo y cariño. Por la confianza y consejos en cada uno de los proyectos y aventuras que he emprendido. A mis hermanos: Mariana, Marcela y Santiago por acompañarme en la travesía de descifrar los colores y sabores de la vida. A Cami y Nito porque me han compartido los encantos de la vida.

A mis amigos que han formado parte del proyecto que engloba este trabajo: Ceci, Emiliano Mora, Chak, Nicolas Payeiro, Vale Isunza, Alan Heiblum, Atenea, Andrés, Lau, la Vaca, la Buera, el Chop, Filly, Diego y Abril.

A Carlos, Petra, Emi, Quiela, Celes y Diego. Por ser una familia tan cercana aunque se extiendan miles de kilómetros entre nosotros.

A Lu por su increíble capacidad de tejer tramas y urdir sueños, por las incontables noches en las que pacientemente escuchaba y descifraba mis ideas, por su apoyo interminable.

ÍNDICE

RESUMEN	5
INTRODUCCION	6
OBJETIVOS.....	10
PROBLEMÁTICA	10
CAPITULO I. MARCOS TEORICOS	12
1.1 La biología como ciencia: historia y contexto actual.....	12
1.1.1 La biología en la primera mitad del siglo XX.....	16
1.1.2 La biología en el periodo de posguerra	20
1.1.3 La era postgenómica y el surgimiento del biocapital	27
1.2 La biología como contenido curricular.....	31
1.2.1 Características generales de las propuestas.....	32
1.2.2 Diferencias y similitudes entre las propuestas.....	36
1.3 Pedagogía y didáctica de la biología	38
CAPITULO II. CONTEXTO.....	47
2.1 La enseñanza de la biología en educación secundaria en México.....	47
2.2. Contexto de las TIC en la enseñanza de la biología en México	59
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	62
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	67
4.1 Referente histórico	67
4.2 Estructura conceptual generada en esta investigación.....	75
4.3 Unidades didácticas	79
4.4 Recursos de la propuesta didáctica	87
4.5 Evaluación de la propuesta didáctica en grupo con intervención y grupo control	88
CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXOS.....	104

RESUMEN

Las propuestas didácticas para la enseñanza de la biología en educación secundaria en México han sido modificadas en repetidas ocasiones durante la segunda mitad del siglo XX, y principios del siglo XXI. Entre los factores que han influido en mayor medida en este proceso de cambio constante se encuentran: los modelos predominantes para la enseñanza de la ciencia, los resultados de distintas pruebas para evaluar el aprovechamiento en ciencias de los alumnos, y el reto que representa la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la práctica educativa.

El presente trabajo tuvo como objetivos: elaborar una propuesta didáctica de biología para educación secundaria que contemplara el uso de las TIC, y evaluar su efectividad en el salón de clases. Para cumplir con estos objetivos se caracterizaron y analizaron, un conjunto de eventos históricos que fueron determinantes en el desarrollo de la biología durante el siglo XX y principios del XXI, los contenidos presentes en dos propuestas actuales para la enseñanza de esta ciencia; así como algunos aspectos pedagógicos y didácticos en la enseñanza de esta disciplina.

En el desarrollo del proyecto de investigación se implementó un método de investigación educativa de enfoque dominante en el que se utilizaron elementos cuantitativos y cualitativos. Se diseñaron una serie de recursos que incluyeron elementos impresos y digitales, que fueron incorporados en un sitio web denominado *Laboratorio Interactivo de Biología*. Los datos para la evaluación de los aprendizajes se recabaron a través del uso de instrumentos, e información que se almacenó en una base de datos web.

Los resultados de la investigación permitieron identificar cuatro conceptos centrales, a partir de los cuales se elaboró la estructura conceptual que sirvió para generar la secuencia didáctica del curso. La contrastación de la propuesta en dos poblaciones de estudiantes de secundaria mostró una mejora en seis de las siete unidades didácticas evaluadas en el grupo con intervención, al comparar su efectividad con el grupo control.

En las conclusiones de este trabajo se menciona que hay razones para atribuir a la interacción didáctica que se promovió a través de la implementación de la propuesta, más que al elemento tecnológico, el factor que permitió obtener mejores resultados de aprendizaje. También se remarca la utilidad de esta herramienta para orientar la elaboración de recursos que incorporen el componente tecnológico, y su contribución en la comprensión de los problemas del proceso enseñanza-aprendizaje de esta ciencia en la actualidad.

INTRODUCCION

El surgimiento de la sociedad de la información en el siglo XX modificó de forma decisiva diferentes aspectos del desarrollo de las naciones y las experiencias de las personas. Entre las repercusiones que tuvo para la biología la incorporación a este nuevo entramado social, es posible mencionar: el surgimiento de diferentes subdisciplinas; el cambio metodológico en prácticamente todas las áreas ya establecidas; y las modificaciones en la dinámica del proceso enseñanza-aprendizaje de esta ciencia en todos los grados educativos.

La biología, al igual que el resto de las ciencias, ha cambiado profundamente a partir de la incorporación de las TIC en su práctica desde la década de los sesenta. Estos cambios suponen una forma distinta de concebir los objetivos y los procedimientos de distintas áreas de esta ciencia. Este hecho aunado a la generación constante de problemas y preguntas de interés no solamente científico sino también social, plantea un punto importante de partida con respecto a la aproximación que será necesaria para abordar los nuevos problemas de esta disciplina y la forma como se enseña.

En muchos sistemas educativos del mundo, la emergencia de la sociedad de la información cobró mayor fuerza a partir de la década de los noventa, cuando comenzó el proceso de expansión generalizada de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la escuela. En la actualidad, internet junto con una amplia gama de tecnologías han llevado a la creación de una serie de indicadores para evaluar el grado de incorporación de los sistemas educativos a la sociedad de la información¹.

En un entorno caracterizado por el acceso diversificado a la información. La presente investigación responde a la necesidad de: a) examinar algunas de las implicaciones que tuvo para las ciencias biológicas transitar hacia una nueva etapa en la historia de la humanidad; b) identificar y plasmar en una propuesta didáctica, algunas de las nuevas metodologías que sustentan el proceso enseñanza-aprendizaje de esta disciplina en educación secundaria.

Uno de los principales problemas que es tratado en esta investigación es que aunque se han definido indicadores sobre el aprovechamiento de las tecnologías en la escuela, con la llegada de las nuevas tecnologías y en particular internet, se vislumbran nuevos problemas que deberán ser atendidos a corto plazo. Tal es el caso de los nuevos tipos de

¹ Entre ellos los propuestos en 2008 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO por su siglas en inglés *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*),

analfabetismos funcionales, la veracidad de la información a la que es posible acceder a través de internet ó las limitaciones del lenguaje en el que se encuentran los contenidos.

La búsqueda de información a través de la red ha vuelto prioritario contar con acervos validados, que constituyan fuentes confiables de información y que sean acordes con los distintos grados educativos. En ese sentido, la propuesta *Conocimientos Fundamentales de Biología*, publicada en 2006 por un grupo de especialistas en la biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en colaboración con docentes de educación media y especialistas en la educación, constituye un gran apoyo al ser el acervo de información validada más reciente.

En los conocimientos fundamentales de biología se integran los contenidos biológicos esenciales, desde una perspectiva congruente con el desarrollo de esta disciplina, el contexto educativo y la visión interdisciplinaria de la ciencia. Su correspondencia con el desarrollo reciente de la disciplina constituye una de las partes fundamentales de esta investigación. La otra parte se centra en la propuesta didáctica que se presenta, a través de la cual se busca responder a la pregunta ¿cómo articular los conocimientos fundamentales con el proceso enseñanza-aprendizaje, a través de diferentes estrategias para incorporar de forma efectiva las TIC en el aula? Para ello, las preguntas rectoras de la investigación son las siguientes:

- ¿Qué conocimientos debe adquirir un alumno de secundaria después de un curso contemporáneo de biología?
- ¿Cómo es posible vincular el desarrollo actual de la biología, con los procesos educativos que involucran el uso de las TIC?
- ¿Se utilizan de forma adecuada las TIC en la enseñanza de la biología?
- ¿Existen alguna correlación relevante entre el manejo de conceptos en un grupo de estudiantes de secundaria que utiliza una propuesta didáctica basada en el uso de las TIC, y otro que no?

En México, los cambios que han tenido lugar en las últimas dos décadas en la enseñanza de esta ciencia en educación secundaria, han estado enfocados principalmente en romper con el modelo enciclopédico de enseñanza y cambiar la noción del método experimental como única forma de validar el conocimiento científico.

La transición hacia el uso de las nuevas tecnologías para promover la enseñanza de la biología se presenta como una oportunidad importante para retomar los planteamientos actuales sobre la enseñanza de esta disciplina, que remarcan la importancia de que se enseñe de la misma forma como se practica, identificando los factores históricos, culturales, sociales y tecnológicos.

Una de las premisas más importantes de las que parte esta investigación es que, contrario a las expectativas de los gobiernos, en los que parece acentuarse la creencia de que la dotación de tecnología resuelve los grandes problemas del rezago educativo, las nuevas tecnologías por sí mismas no son educativas, sino que su eficiencia en el logro de aprendizajes en los alumnos depende de su uso en el aula, de la mediación docente que se haga de estas y la interacción didáctica en general.

Por esta razón un aspecto que resulta clave en esta transición es que la novedad de las tecnologías exige replantear su significado para entenderlas más que como artefactos, como herramientas que permitan generar sinergias que articulen tramas y saberes. Esto hace necesario una aproximación que desde la propia biología defina la pertinencia de una nueva didáctica, que incluya replantear el papel de los científicos, del docente y del alumno frente a los retos que enfrentará esta ciencia en las próximas generaciones.

El enfoque que se utilizó en la investigación fue de enfoque dominante. En la investigación educativa este método se caracteriza por combinar aspectos de la investigación cuantitativa y cualitativa, predominando el último enfoque. La **hipótesis de trabajo** que se desarrolla es que la implementación de una propuesta didáctica que parte de una base teórica acorde con el desarrollo actual de la biología y el diseño de recursos basados en el uso de las TIC, permite obtener efectos positivos en el aprendizaje al evaluar su efectividad en el aula.

El estudio se realizó en cuatro grupos, con un total de 60 estudiantes de tercero de secundaria, que participaron durante los meses de mayo y junio de 2010 en el programa de actualización para presentar el examen de ingreso a la preparatoria o bachillerato, organizado por la Dirección de Desarrollo Comunitario de la Delegación Tlalpan.

El documento que se presenta está estructurado en cuatro capítulos; en el primero se desarrollan los marcos teóricos. Se inicia abordando el marco de la biología como disciplina científica, para ello se analizan algunos de los eventos más importantes en el desarrollo de esta ciencia lo largo del siglo XX y principios del XXI. Como antesala del análisis de estos

eventos se plantea la importancia de la información y el conocimiento humano como las materias primas de la tercera revolución industrial. A continuación se muestra una reseña histórica cuyo eje de referencia principal es la influencia de la tercera revolución industrial en el desarrollo de la biología; en el segundo inciso de este capítulo se aborda el marco de la biología como contenido curricular. Para lograrlo se plantea el análisis de los conceptos centrales identificados en dos propuestas educativas actuales en esta área del conocimiento; para finalizar este capítulo en el último inciso se describe el marco pedagógico y didáctico con el que se elaboró la propuesta.

En el segundo capítulo se muestra el contexto en el que se inscribe la propuesta didáctica, comenzando por caracterizar el entramado denominado sociedad de la información; en el primer inciso se abordan las generalidades del contexto de la enseñanza de la ciencia y la biología en la educación secundaria en México, a través de una reseña histórica. A continuación se muestran los resultados más relevantes de los indicadores de las pruebas: Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (PISA por sus siglas en inglés: *Programme for International Student Assessment*), Evaluación Nacional de Logro Académico en Centros Escolares (ENLACE), y los Exámenes para la Calidad y el Logro Educativos (EXCALE). Para finalizar este capítulo se incluye una breve discusión sobre el contexto en el que se definió el planteamiento de las TIC en la educación.

En el tercer capítulo se desarrolla la metodología empleada en la investigación. El cuarto capítulo muestra los resultados y el análisis de los mismos. Finalmente se presentan las conclusiones y perspectivas derivadas de esta investigación.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar y evaluar en un espacio educativo una propuesta didáctica actualizada de la biología para educación secundaria que integre el uso de las tecnologías de la información y la comunicación.

Objetivos Específicos

- Diseñar un paquete didáctico basado en la diversificación de recursos y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación .
- Diseñar herramientas que promuevan habilidades científicas a través del uso de nuevas tecnologías.
- Evaluar el efecto de la propuesta en el aprendizaje.

PROBLEMÁTICA

Distintos indicadores para evaluar el aprovechamiento en ciencias por parte de los alumnos de educación secundaria, presentados en: la Evaluación Nacional de Logro Académico en Centros Escolares (ENLACE-2009), los Exámenes de Calidad y Logro Educativo (EXCALE 2008), y la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA 2006, por sus siglas en inglés: *Programme for International Student Assessment*), muestran que el grueso del alumnado mexicano se encuentra en niveles bajos o elementales de aprovechamiento en esta área del conocimiento.

En la versión 2008 de EXCALE se evaluó la asimilación de los conocimientos biológicos en un total de 80 mil 525 estudiantes; los resultados mostraron que el 87% se ubicó en los niveles básico y por debajo del básico. De las cuatro unidades de análisis propuestas, los resultados en función del índice de aciertos obtenidos, fueron los siguientes: Ecología (55.73%), Genética, Reproducción Humana y Salud (52.80%), Niveles de Organización Celular y Funciones Vitales (47.87%), y El Mundo de los Seres Vivos, (46.97%).

Estos datos muestran que la situación actual de la enseñanza de la biología en nuestro país presenta un problema que debe ser atendido inmediatamente. En este

escenario, desde hace un par de décadas, la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se ha convertido en un elemento central en las políticas educativas. Dentro de los objetivos planteados en la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información, en Ginebra (2003) y Túnez (2005), se planteó el papel crucial de las TIC en la escuela y se hizo énfasis en su papel como herramientas para combatir la pobreza y permitir a los distintos gobiernos del mundo alcanzar niveles más elevados de desarrollo.

TESIS

La comprensión de la influencia que han tenido sobre la biología la tercera revolución industrial y la emergencia de la sociedad de la información, debe constituir uno de los ejes a partir de los cuales se diseñen propuestas didácticas para la enseñanza de esta ciencia. Al contar con un consenso sobre el significado de las tecnologías de la información y la comunicación, y su papel en el contexto disciplinario actual, será posible generar nuevas prácticas educativas y proponer mecanismos de evaluación acordes con las nuevas competencias que se espera en los alumnos.

En la actualidad la enseñanza de la biología se ha enfocado en explicar los conceptos más importantes de esta ciencia aislados de su aplicación a través del componente tecnológico. Aunque esta situación es multifactorial, la generación de recursos orientados que muestre la aplicación de los conceptos y la forma como se abordan problemas sociales. Representa un elemento potencialmente aprovechable en el procesos de enseñanza-aprendizaje. A partir de esta consideración, se plantea que la interacción didáctica que se promueve a través de la implementación de una propuesta didáctica que contempla el uso de las TIC, permite obtener mejores resultados de aprendizaje al comparar su efectividad en un grupo con intervención y un grupo control.

CAPITULO I. MARCOS TEORICOS

En este capítulo se muestran los fundamentos científicos, pedagógicos y didácticos que guiaron esta investigación y permitieron definir la propuesta didáctica que se presenta. Se comienza con un breve marco conceptual para comprender el contexto actual de la biología y la importancia de los procesos de cambio que están impulsando distintos factores, entre ellos la integración de las tecnologías de la información y la comunicación en las diferentes áreas de esta ciencia. Partiendo de este marco, en el primer inciso se plantea el análisis de los principales hechos y teorías biológicas que fueron determinantes en el desarrollo de la biología a lo largo del siglo XX, haciendo énfasis en aquellos aspectos que han sido resultado del establecimiento de la tercera revolución industrial.

En el segundo inciso se analizan los principales ejes disciplinarios y pedagógicos de dos propuestas actuales para la enseñanza de la biología, identificando las similitudes y diferencias entre ambas propuestas así como su representatividad en el contexto actual de esta disciplina. Finalmente, en el último inciso del capítulo, se abordan los fundamentos pedagógicos y didácticos que respaldan esta investigación.

1.1 La biología como ciencia: historia y contexto actual

En el comienzo del siglo XXI, la biología atraviesa un momento de cambios profundos que son resultado de la integración de nuevas tecnologías, metodologías y conceptos derivados de distintas disciplinas científicas, entre ellas: las matemáticas, las ciencias físicas, las ciencias de la computación y la ingeniería. El progreso que han alcanzado las ciencias biológicas en los últimos años ha permitido el establecimiento de nuevas industrias, como la biotecnológica, y ha generado grandes expectativas sobre el tipo de respuestas que dará esta ciencia a los desafíos sociales que enfrentará la humanidad en los próximos años.

Recientemente han comenzado a caracterizarse las fuerzas que hicieron posible el proceso de transformación de esta disciplina en el último siglo. Cada vez es más frecuente reconocer en discursos políticos, académicos y mediáticos términos como la era de la información, la sociedad de la información o la sociedad del conocimiento. Estos términos se utilizan para nombrar los rasgos novedosos que han aparecido en las tramas sociales y sugieren la transición hacia una nueva etapa de desarrollo.

El objetivo de los incisos que se presentan a continuación es abordar el desarrollo histórico de la biología desde el comienzo del siglo XX, y vincular los cambios más representativos de esta disciplina con las características distintivas de este entramado social. Para lograr esto es necesario establecer un marco comparativo entre el desarrollo de esta disciplina y los componentes que han posibilitado la revolución actual. Como punto de partida a continuación se describen las características distintivas del periodo denominado tercera revolución industrial, pero antes se abordan brevemente las dos revoluciones previas como antecedentes primeros de este periodo histórico.

El desarrollo socio-económico en la historia de las sociedades ha sido caracterizado a través de la "teoría de los dos motores" propuesta por la investigadora Zhouying Jin. Esta

autora menciona que los motores de cambio son la *soft technology* y la *hard technology*. En términos generales la *hard technology* parte de un sistema de conocimiento derivado de las ciencias naturales y se manifiesta en formas materiales. La *soft technology* parte de un sistema de conocimiento tradicional, que no es necesariamente científico, y se manifiesta a través de aspectos psicológicos y conductuales. A partir de esta consideración a continuación se exponen las características de las tres revoluciones industriales².

Distintos autores coinciden en que la primera revolución industrial inició en Inglaterra y abarcó el periodo comprendido entre la segunda mitad del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX³. Esta revolución se caracterizó principalmente por el cambio de una sociedad agraria a una sociedad de corte industrial. El elemento central que hizo posible esta transformación fue el aprovechamiento del carbón como fuente de energía. Este combustible se empleó de forma preponderante en tecnologías para la industria textil y distintas máquinas de vapor, estas constituyen las principales *hard technologies* del periodo.

La generación de un mercado para el flujo de nuevos productos, así como un nuevo sistema de logística para mantener un proceso sostenido de producción de bienes y generar un nuevo tipo de orden económico y social, constituyen las *soft technologies* de este periodo.

Un aspecto importante que menciona M. Castells al abordar el análisis de este periodo, es el hecho de que la primera revolución no se basó en la ciencia⁴. Este autor argumenta que el conocimiento científico necesario para generar las innovaciones tecnológicas que caracterizaron esta etapa, estuvo disponible desde el siglo XVII, de forma que fue más bien el uso de la información, las aplicaciones y el desarrollo del conocimiento ya existente, lo que permitió el modelo de desarrollo que se estableció durante ese periodo⁵.

La segunda revolución industrial ocurrió cien años más tarde, entre la segunda mitad del siglo XIX y mediados del siglo XX. Los principales precursores de esta revolución fueron Alemania, Francia y Estados Unidos. A diferencia de la revolución anterior, una de las características distintivas de esta etapa fue el papel de la ciencia para fomentar las

² Zhouying, J. (2005): *Global technology change. From Hard Technology to soft technology*. Pekin University Press, Beijing, pp. 24-64.

³ Marí, V. (2002): *Globalización, Nuevas Tecnologías y Comunicación*, Editorial de la Torre, Madrid, pp. 14-55; Berumen, S. y K. Arriaza, coord., (2008): *Evolución y desarrollo de las TIC en la economía del conocimiento*, Editorial del economista, Madrid, pp. 38-50.

⁴ La ciencia a la que se refiere Castells se interpreta en esta investigación, siguiendo el planteamiento de Martínez, como la trama de instituciones productoras y consumidoras de estándares (tecnológicos y epistémicos, entre otros), que busca a su vez estandarizar la producción y los criterios de evaluación de los mismos. Y que se distingue por la generación de patrones de orden superior que regulan muchos tipos de prácticas. Martínez, S. y Godfrey, G. (Comps.). (2005): *Historia, Filosofía y Enseñanza de la Ciencia*, UNAM, Instituto de Investigaciones Filosóficas, México, pp. 1- 18

⁵ Castells, M. (1999): *La era de la información: economía, sociedad y cultura*, Vol. I: La sociedad red, 6ª ed., Siglo XXI editores, México, pp. 55-92.

innovaciones⁶. Los elementos centrales de este periodo fueron: el uso de la energía eléctrica para mantener el proceso de producción y crecimiento económico, y los nuevos sistemas de organización del trabajo para incrementar la actividad industrial. L. Marín⁷ menciona que fue en esta etapa cuando se alcanzó plenamente el estatus de "sociedad industrial", para caracterizar este proceso definió una serie de consecuencias en el ámbito social que se definieron durante esta revolución.

M. Cruz menciona que la tercera revolución industrial fue caracterizada a mediados de la década de los setenta⁸. Esta revolución tiene como característica distintiva el cambio de un modelo de desarrollo industrial a otro informacional. La base energética que distingue esta etapa se centra en las posibilidades de la energía nuclear y otros tipos de energías alternativas como la solar y eólica. Entre los componentes que permiten caracterizar este periodo también se encuentran la aparición de nuevos materiales (entre estos la fibra óptica, la fibra de grafito, las aleaciones, polímeros sintéticos, etc.), y la revolución en el sector de las telecomunicaciones.

La transformación de fondo que caracteriza este periodo es el cambio en la orientación del modo de producción, el cual más allá de promover el desarrollo industrial, busca obtener réditos económicos de la generación de conocimientos a través de la investigación y la difusión por los medios de comunicación. Este modelo ha conducido al establecimiento de una nueva fuerza laboral enfocada en mantener un proceso constante de enriquecimiento informativo, que fomente la importancia de los procesos de control automático.

Un aspecto importante para esta investigación, por la finalidad misma de la propuesta didáctica, es la consideración expuesta por Castells que plantea que más allá de que la tercera revolución se centre en el papel primordial de la información y el conocimiento, comprende:

⁶ Castells menciona que los laboratorios de Investigación y Desarrollo (I+D) aparecieron por primera vez en la industria química alemana en las últimas décadas del siglo XIX. El fomento de la investigación en las empresas hizo posible el desarrollo de tecnologías, como el motor de combustión interna, la fundición del acero, el telégrafo y el teléfono. Castells, M. *Op. cit.*, nota 4, p. 69.

⁷ Lucas, A. (2000): *La nueva sociedad de la información: una perspectiva desde Silicon Valley*, Editorial Trotta, Madrid, 173 pp.

⁸ Este autor menciona que Fritz Machlup, profesor de economía de la Universidad de Princeton y posteriormente Peter Drucker definieron la "era del conocimiento" como una etapa en la historia de la humanidad en la que la generación de conocimientos a través de la investigación y su difusión a través de los medios de la información y la comunicación, constituyeron la base de la actividad profesional de una nueva fuerza de trabajo. Generando un nuevo tipo de economía en la que los trabajadores generan un proceso constante de enriquecimiento informativo. Cruz, M. (2008) Tesis de doctorado: *La Sociedad del Conocimiento y las nuevas tecnologías educativas en la enseñanza-aprendizaje del derecho en la UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 63-78.

Una nueva forma de aplicar el conocimiento e información a aparatos de generación de conocimiento y procesamiento de la información/comunicación, en un círculo de retroalimentación acumulativo entre la innovación y sus usos.⁹

Uno de los elementos clave en la transición a la tercera revolución industrial ha sido la incorporación a la producción de las aplicaciones derivadas de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Estas tecnologías han facilitado el manejo y la manipulación de datos gracias a las posibilidades de almacenamiento y localización en espacios electrónicos; esto ha permitido un flujo de información más versátil y la generación de aplicaciones que como se mencionó anteriormente permiten mantener un esquema de retroalimentación.

Al reflexionar sobre lo que ha ocurrido con la biología en su proceso de incorporación a la tercera revolución industrial, surgen una amplia gama de preguntas y posibilidades de investigación. Entre estas es posible mencionar, por ejemplo: el surgimiento de un enfoque integrador de la biología con otras ciencias para abordar problemas conjuntos, las nuevas perspectivas sobre el entendimiento de los seres vivos como la planteada por la genómica microbiana, los retos sociales que enfrentamos en la actualidad (entre ellos el paradigma del desarrollo sostenible), las promesas de la medicina personalizada, las interfaces cerebro-máquina, entre otros problemas que por sí solos constituyen posibilidades de investigación independientes.

Cabe mencionar que esta investigación no pretende hacer una revisión exhaustiva de los problemas y los programas de investigación que se han generado a partir del proceso de integración, sino identificar los principales referentes teóricos que permitan asimilar las características propias de dicho proceso, seleccionar los rasgos novedosos y organizarlos en una propuesta didáctica.

Para abordar la transformación de la biología en el contexto de la tercera revolución industrial, se plantea el análisis de tres líneas principales, buscando identificar cuáles son los hechos y las teorías biológicas más representativas en diferentes periodos de análisis: la consolidación de la síntesis moderna, la influencia del modelo predominante de desarrollo científico y tecnológico en la biología durante la etapa de la posguerra (1945-1970), y el establecimiento de la llamada era postgenómica en la biología.

⁹ Como se mostrará más adelante, en esta investigación se consideró este argumento de Castells en la definición de distintos elementos de la propuesta didáctica. Castells, M. *Op. cit*, nota 4, p. 58.

1.1.1 La biología en la primera mitad del siglo XX

Si bien los primeros registros sobre el estudio de los seres vivos se remontan a un periodo anterior a nuestra era, es común encontrar la referencia al hecho de que la biología se constituyó como ciencia en el momento en que contó con verdaderos paradigmas¹⁰. Distintos autores sitúan este acontecimiento entre 1805 y 1900, cuando los hallazgos en diferentes áreas de investigación en torno a lo vivo definieron las bases de esta disciplina¹¹.

M. Foucault señaló que durante el siglo XVIII no era posible mencionar historias de la biología, debido a que la biología no existía¹². Con esto se refería a que, aunque el problema de la vida había sido abordado desde diferentes perspectivas, el conocimiento sobre los seres vivos no partía de una perspectiva científica unificada, si no que era producto de las investigaciones derivadas de la historia natural. Es a lo largo del siglo XIX que se da la transición de la historia natural a la biología. Uno de los eventos que hicieron posible esta situación fue el planteamiento de la teoría evolutiva, por C. Darwin y A. Wallace en 1859, logrando de esta forma el reemplazo del paradigma clasificador por el paradigma transformista¹³.

El cambio de paradigma coincide con el periodo en el que se ubica el inicio de la segunda revolución industrial. El *progreso científico* que se gestó con el paradigma transformista, estuvo acompañado de cambios profundos en los ámbitos tecnológico, económico y social. Aunque se menciona que la segunda revolución dejó de tener su centro de gravedad en Inglaterra, el proceso de industrialización característico de la época victoriana, es asociado generalmente a una representación del *progreso*.

Como se expuso anteriormente, la segunda revolución industrial tuvo un carácter más científico en comparación con la primera. Esta situación influyó en que el método científico se convirtiera en el elemento de validación más importante para la ciencia, generando importantes repercusiones en el desarrollo de la biología a principios del siglo XX.

¹⁰ El significado que se da a los paradigmas en esta tesis, parte de la obra de Thomas Kuhn, "La estructura de las revoluciones científicas", entendido como "realizaciones científicas universalmente reconocidas, que durante cierto tiempo proporcionan modelos de problemas y soluciones a la comunidad científica". De forma que se utiliza como un elemento importante en la interpretación que tiene el cambio científico en la segunda mitad del siglo XX. Sin embargo, si se quiere profundizar en la discusión sobre la aplicación de este concepto en la biología, es posible consultar. Mayr, E. (2006): *Por qué es única la biología: consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*, Editorial Katz, Buenos Aires, 280 pp.

¹¹ Entre los paradigmas que contribuyeron a consolidar la autonomía de esta disciplina, se encuentran; la teoría evolutiva de Lamarck (1805); los hallazgos en el área de la embriología realizados por K.E. von Baer (1828); la teoría celular de Schleiden y Schwann (1836); la teoría de la homeostasis de Claude Bernard (1856); la teoría de la evolución de Wallace y Darwin (1859); la teoría de la herencia de Mendel (1866), así como los estudios posteriores elaborados por Correns, Tschermak y De Vries (1900), entre otros. Mayr, E. (1997) :*This is biology. The science of the living world*. Harvard University Press. Cambridge, 327 pp.

¹² Foucault, M. (1966), *Las palabras y las cosas*, Siglo XXI editores, México, D.F., pp. 136-148.

¹³ Como ejemplo de esta transición es posible consultar el artículo de Ledesma en el que expone para el caso mexicano la transición de la cátedra de Historia Natural por la cátedra de biología. Ledesma-Mateos, I. (2002) "La introducción de los paradigmas de la biología en México y la obra de Alfonso L. Herrera", *Historia Mexicana*, Vol. 52, No. 1 (jul.-sep.), pp. 201-240.

Entre las disciplinas biológicas, las áreas experimentales constituyeron las principales líneas de investigación, siendo las más representativas, la caracterización de los cromosomas durante la división celular y fertilización, diversos estudios sobre el desarrollo embrionario y la regeneración, el análisis de la herencia por medio de cruza controladas y el análisis estadístico de las variaciones¹⁴. Esta situación condujo a que se cuestionaran los métodos empleados en las áreas no experimentales de la biología, lo cual tuvo consecuencias considerables en la asimilación del paradigma evolutivo darwinista.

Uno de los problemas más representativos de este periodo fue el rechazo a la selección natural como el mecanismo principal para explicar la evolución. Esto condujo a que se propusieran distintos mecanismos evolutivos, entre los cuales destacaban una variedad de teorías neolamarckistas, la ortogénesis y varias escuelas mutacionistas. A este periodo, ubicado entre finales de 1880 y las primeras dos décadas del siglo XX, se le conoce como el “eclipse del darwinismo”. Una de las características que lo definen es la falta de una explicación adecuada de las bases de la herencia en la teoría darwiniana, esto condujo, como se mencionó, a que la selección natural fuera desacreditada como un mecanismo evolutivo que permitiera explicar el surgimiento y la preservación de las variaciones¹⁵.

Durante el periodo transcurrido entre 1918 y 1930, conocido como la Primera Síntesis Evolutiva, comenzó a gestarse el cambio hacia la teoría evolutiva moderna. Para ello, junto con evidencias derivadas de la paleontología y pruebas experimentales de las bases moleculares de la herencia, fue necesario integrar herramientas biométricas estadísticas y cuantitativas. Siguiendo el planteamiento de F. Guillén¹⁶, en la década de los treinta, el trabajo de genetistas como R. A. Fisher, S. Wright y J. B. S. Haldane, generó un cambio que permitiría a la biología adquirir una estructura científica sólida.

El desarrollo de una aproximación matemática y métodos de análisis cuantitativos para modelar procesos evolutivos permitieron establecer una base para superar la brecha existente entre los naturalistas y los experimentalistas, al proporcionar un método para medir los procesos evolutivos y posicionar a la selección natural como el principal mecanismo evolutivo. Esta situación conduciría al desarrollo de la Genética de Poblaciones.

La Síntesis Evolutiva Tardía es referida como el periodo que transcurrió entre 1936 a 1947 y es caracterizada con los trabajos de T. Dobzhansky, C. D. Darlington, E. Mayr, G. G.

¹⁴ Barahona, A. et al. (Ed.). (2000): *Filosofía e Historia de la Biología*, Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México, pp. 204-234.

¹⁵ Plutynski, A. (n.d.) *The modern synthesis*. Obtenida el 26 de Noviembre de 2010, de <http://hum.utah.edu/~plutynsk/ModernSynthesisfinal.pdf>

¹⁶ Guillén, F. C. (1997). Algunos aspectos a considerar en la enseñanza de la biología. En Alba, A. et al. *Contenidos relevantes de ciencias naturales para la educación básica*. SNTE, México, p. 53-64.

Simpson y G. L. Stebbins¹⁷. A través de una serie de obras escritas por los biólogos mencionados se hizo énfasis en el modo en que opera la selección natural y sus efectos, remarcando la aceptación de la teoría evolutiva de Darwin. En la conferencia “Genética, Paleontología y Evolución” que se celebró en Princeton, en 1947, se definió a la teoría sintética como una corriente de pensamiento¹⁸.

En 2007 J. Nuñez-Farfán y L. Eguiarte señalaron que el establecimiento de la síntesis evolutiva fue un proceso largo que requirió de un grupo de biólogos encabezado por Dobzhansky y que incluiría figuras como Mayr, Simpson y Stebbins, a quienes la historia juzgaría como los autores de la síntesis moderna en un periodo que abarca de 1930 a 1947. Sin embargo estos autores exponen que es posible identificar una serie de síntesis alternativas que de manera independiente fusionaron la genética mendeliana con el concepto de selección natural y poblaciones¹⁹.

No cabe duda que la integración de las diferentes disciplinas biológicas bajo el principio unificador de la evolución, fue el acontecimiento más relevante para esta ciencia en la primera mitad del siglo XX. Sin embargo, pese a la ratificación de la evolución con la teoría sintética. La biología tuvo que resistir una serie de problemas que cuestionaban su autonomía. Mayr planteó tres conjuntos de sucesos que tuvieron que ser resueltos antes de que se lograra la validación de la biología como una ciencia del mismo rango que otras, con una base lógico matemática como la física o la química.²⁰

El análisis que presentó Mayr en el artículo *Causa y efecto en biología* en 1961 abordó el problema de la explicación en la biología. En este dejó en claro la diversidad teórica y metodológica de esta ciencia, y planteó dos grandes campos del estudio biológico; el estudio de las *causas próximas* y el de las *causas últimas*²¹. A través de este análisis se ratificó la importancia de la evolución como el principio unificador más importante para esta ciencia.

¹⁷ En 1937 se publicó el libro *Genética y el origen de las especies* de Dobzhansky; en 1942 Mayr publicó *Sistemática y el origen de las especies*, y ese mismo año se publicó *Evolución: la síntesis moderna* de Huxley, dos años después en 1944 se publicó *Tiempo y Modo en Evolución* de Simpson y en 1950 *Variación y evolución en plantas* de Stebbins.

¹⁸ Smocovitis, V. B (1996), *Unifying Biology: The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology*, en *Journal of the History of Biology*, Vol. 25, No. 1, pp. 1-65.

¹⁹ Según estos autores, las síntesis alternativas que presentan, fueron; la realizada por Fisher, Wright y Haldane, de manera independiente, al unir la genética mendeliana con el concepto de selección natural y poblaciones; la realizada por Julian Huxley y E. B. Ford; y el programa experimental de Clausen sobre el programa de la adaptación de diferentes especies de plantas en la Sierra Nevada en California. Para profundizar en el tema, consultar: Nuñez-Farfán J y Eguiarte L. (2007), *La construcción de la teoría sintética de la evolución. En La interdisciplina y las grandes teorías del mundo moderno*. UNAM, México, pp. 131-150.

²⁰ Los conflictos que tuvieron que ser resueltos, fueron: a) *la refutación de algunos principios erróneos*, siendo los dos principales el vitalismo y la teleología cósmica²⁰; b) *la demostración de que algunos principios básicos de la física no pueden aplicarse a la biología*, entre ellos el esencialismo, determinismo, reduccionismo y ausencia de leyes universales; y c) *la toma de conciencia de ciertos principios básicos de la biología que no son aplicables al mundo inanimado*. Mayr, E. *Op. cit.*, nota 9, Págs. 89-94

²¹ Basándose en el problema de la explicación en la biología, Mayr introdujo la noción de que los estudios de las *causas próximas*, consideran aspectos funcionales de la biología, es decir se explican diferentes procesos biológicos tomando como punto de partida la pregunta ¿cómo?, y utilizando una aproximación para resolver este tipo de problemas que requiere de un enfoque de tipo experimental. Por otro lado, la biología de *causas últimas* está relacionada con el estudio de la historia evolutiva, la pregunta que se trata de responder tiene que ver con ¿por qué?, para ello la aproximación metodológica se basa en la observación y la comparación.

Aunque distintas áreas de la biología lograron un desarrollo importante en la primera parte del siglo XX, una de las más influyentes en el curso histórico fue la genética. Esta disciplina tuvo su principal centro de desarrollo en los Estados Unidos.

En el libro *Las Hélices paralelas: una visión crítica de la era genómica y postgenómica*, F. García²²relata el proceso mediante el cual, en el periodo entre 1910 y 1925, se elucidó el paradigma del gen en la Universidad de Columbia en los Estados Unidos. Este autor expuso que las investigaciones realizadas por el equipo coordinado por T. H. Morgan, en las que se abordaron problemas como: la aparición de mutaciones esporádicas que se transmiten a las generaciones sucesivas, los cromosomas sexuales, la herencia ligada al sexo, los mapas genéticos y la recombinación, contribuyeron de forma importante al desarrollo de la genética en las primeras décadas del siglo XX.

Otra de las instituciones en las que se logró un importante desarrollo en la genética a principios del siglo XX fue el Laboratorio de Cold Spring Harbor en Nueva York. En el periodo entre 1910-1944 C. Davenport fue director del Laboratorio. El auge de la genética condujo al desarrollo de esta disciplina, pero también a la implementación de una serie de medidas eugenésicas que tuvieron consecuencias muy importantes, entre ellas las medidas adoptadas por el partido Nazi durante la Segunda Guerra Mundial.

La Segunda Guerra Mundial (1939-1945) es probablemente el evento que más influyó en el curso de la historia en el siglo XX. En la biología, el desencadenamiento de la guerra tuvo entre sus posibles consecuencias el retraso en la consolidación de la Síntesis Moderna. Y fue clave en la orientación de la investigación en la biología durante la segunda mitad del siglo XX, por el desarrollo científico y tecnológico que se generó durante el periodo de guerra.

En este inciso se expuso brevemente el desarrollo de la biología en las primeras décadas del siglo XX. Se mostró la importancia del programa evolutivo en la consolidación de la autonomía de esta ciencia. Y se mencionó que el desarrollo de las áreas experimentales de la biología coincidió con el impulso característico de la segunda revolución industrial a las ciencias. Esta situación actuó en detrimento de la aceptación de la teoría darwinista, y permitió la consolidación de programas de investigación en distintas áreas.

Durante la Segunda Guerra Mundial se definieron los principales avances tecnológicos que posibilitaron la tercera revolución industrial. En el siguiente inciso se examinan algunas

²² García, L.F (2003): *Las Hélices paralelas: una visión crítica de la era genómica y postgenómica*. Programa Editorial Universidad del Valle, Colombia. 180 pp.

de las consecuencias que tuvo para la biología la emergencia de las nuevas tecnologías en el periodo de posguerra.

1.1.2 La biología en el periodo de posguerra

Este inciso tiene como objetivo analizar brevemente algunas de las repercusiones que tuvo para la biología, el modelo de desarrollo científico y tecnológico que se promovió durante la Segunda Guerra Mundial (SGM) y en el periodo de posguerra. Para lograrlo la exposición se centra en desarrollo de la biología molecular en el laboratorio de biofísica de la Universidad de Cambridge en Inglaterra, y el surgimiento del enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS).

Es posible mencionar diferentes consecuencias para el desarrollo de la biología vinculadas con el inicio de la SGM. Como se expuso en el inciso anterior, el retrasó en la consolidación de la síntesis moderna constituye uno de los ejemplos más importantes sobre la influencia de este evento. Otros ejemplos, incluyen: la movilización de científicos, las actividades que ejercieron los biólogos en las zonas de conflicto, las investigaciones que se priorizaron en diferentes universidades durante el periodo de la guerra, los programas de investigación que se consolidaron en la etapa de la posguerra y en un nivel más amplio las consecuencias para la ciencia en general y su repercusión en la biología.

El inicio de la SGM condujo a que una gran cantidad de científicos abandonaran las zonas de conflicto y se establecieran en distintos países. Uno de los principales destinos para los refugiados de guerra fueron los Estados Unidos, la migración de científicos tuvo importantes repercusiones en distintas áreas de la biología como la microbiología y la genética²³. En el caso de los biólogos que se involucraron en las actividades de la guerra las funciones que desarrollaron incluyeron un gran número de aspectos, entre ellas: la participación directa en el campo de batalla, la diagnosis clínica, el control y prevención de enfermedades infecciosas, el desarrollo de armas biológicas y su prevención, etc.²⁴

Durante la guerra, y en el periodo posterior a su término, el enfoque principal de las investigación científica en las universidades de países como Inglaterra y Estados Unidos, respondió a una visión dominada por los estudios en las ciencias físicas (especialmente la

²³ Existe una gran cantidad de ejemplos, entre ellos: el del investigador italiano de origen judío, Salvador Luria (1912-1991), que en 1940 emigró al Laboratorio de Cold Spring Harbor a los Estados Unidos para colaborar con Max Delbrück, haciendo importantes aportaciones para entender el papel de las mutaciones en la resistencia genética de las bacterias; o el del francés Francis Jacob, quien formó parte de la resistencia en su país. Y al terminar la guerra hizo importantes contribuciones para comprender los procesos de transmisión de la información en los genes y el funcionamiento celular.

²⁴ De Chadarevian, S. (2002): *Designs for Life: Molecular biology after World War II*. Cambridge University Press, Cambridge, 423 pp.

física nuclear), la ingeniería y de forma general el fomento a la *big science*²⁵ en la forma de complejos militares-industriales-académicos. Esta tendencia, como se mostrará más adelante, fue muy importante para el desarrollo de nuevas áreas de investigación biológica.

La guerra generó el establecimiento de nuevos programas de investigación. Dos años después de las detonaciones nucleares en las ciudades de Hiroshima y Nagasaki, en 1947, durante la conferencia de genética convocada por la Comisión de las Víctimas de la Bomba Atómica (*Atomic Bomb Casualty Commission*) del Consejo Nacional de Investigación (*National Research Council*) de los Estados Unidos, se aprobó un programa de investigación en genética en las ciudades japonesas para evaluar los efectos de la radiación en los humanos. Aunque las investigaciones que se realizaron se basaron en métodos indirectos para evaluar los efectos de la radiación, se generó una buena cantidad de información que serviría de base para estudios posteriores.²⁶

Distintos autores coinciden en que la SGM constituyó el evento más importante de socialización de la ciencia, pues además de representar uno de los periodos de desarrollo científico y tecnológico más importantes en la historia de la humanidad, permitió el establecimiento de una serie de diferentes políticas de promoción de la ciencia y tecnología, y otras que respondían a la necesidad de decidir sobre las consecuencias sociales de los avances de la ciencia y tecnología, en un sentido positivo, negativo o preventivo²⁷. Al modelo de desarrollo en ciencia y tecnología, propuesto por los norteamericanos en las décadas posteriores a la SGM, se le conoce como “*modelo lineal de innovación*”²⁸.

Dentro de las políticas de promoción que se definieron con el modelo lineal de innovación se dio un papel importante al fomento a la Investigación y Desarrollo (I+D). Se denomina de esta forma al gasto destinado a desarrollar nuevas tecnologías y a prepararlas para que puedan ser utilizadas en la práctica.. El apoyo que tuvieron diferentes empresas para promover el desarrollo tecnológico hizo posible, entre otras cosas, el desarrollo del

²⁵ Big science es un término empleado para describir el tipo de investigación que se desarrollo durante y después de la Segunda Guerra Mundial. Este se caracteriza por el uso de instrumentos y centros de investigación, patrocinados por el gobierno o agencias internacionales, en los que la investigación se realiza por un grupo de investigadores y técnicos.

²⁶ National Research Council (U.S) (2006), *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: Beir VII Phase 2*. National Academics Press, Washington, D.C., 91-92 pp.

²⁷ Merino, N., (2008) La apropiación política de la ciencia: origen y evolución de una nueva tecnocracia. En *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, Buenos Aires, v.4 n.10, pp. 23-45.

²⁸ Siguiendo el planteamiento de R. Arocena, este modelo puede ser representado a través de una flecha, en cuyo origen se encuentra la investigación básica. Una de las afirmaciones más importantes para la definición del modelo planteado por Vannevar Bush es que la investigación básica en ciencia se desarrolla independientemente de sus posibles aplicaciones prácticas, teniendo como principal característica la contribución a la comprensión de la naturaleza y sus leyes; a continuación se encuentra la investigación aplicada; seguida del desarrollo experimental, y en el extremo final la producción de bienes o servicios innovadores. Una segunda afirmación que junto al impulso a la ciencia básica definió las características del modelo lineal de innovación, es que la investigación es el principal impulso del desarrollo tecnológico, lo cual sería constatado en las décadas posteriores a la SGM. Arocena, R., Sutz, J. (2003): *Subdesarrollo e Innovación*, Cambridge University Press, 232 pp.

transistor y las primeras computadoras²⁹. Estas tecnologías, como se verá más adelante, fueron fundamentales el establecimiento de la tercera revolución industrial.

S. De Chadarevian, en su libro *“Designs for life. Molecular Biology after World War II”*, rastrea el origen de la biología molecular a través del recuento de los eventos que se suscitaron en la Universidad de Cambridge y lo vincula con la investigación que se promovió durante la SGM y con los eventos que se suscitaron en el laboratorio de biofísica de esta Universidad.³⁰

Las principales líneas de investigación que se desarrollaron en el laboratorio de biofísica se dividieron en tres grupos principales: un primer grupo investigó los efectos de la radiación en el cuerpo, los mecanismos de protección y los usos médicos de los isótopos radioactivos; un segundo grupo se centró en las investigaciones fisiológicas, para ello utilizó el desarrollo del radar para generar nuevos dispositivos de monitoreo de la actividad nerviosa; el tercer grupo fue el grupo estructural, en este se utilizaron una serie de técnicas físicas, especialmente la difracción de rayos X, para el estudio de estructura biológicas.

Un aspecto muy importante que expone una propiedad fundamental de este periodo, y que resaltó en el caso del grupo de investigación sobre las estructuras moleculares, fue el uso de las primeras computadoras electrónicas³¹. Previo a esto, las primeras tarjetas perforadas para realizar cálculos, que representan el inicio de las computadoras, fueron utilizadas por primera vez en un problema biológico en 1947, cuando la bióloga norteamericana M. Dayhoff las utilizó en su trabajo doctoral.

En la Universidad de Cambridge, las investigaciones de M. Perutz, J. Kendrew, F. Sanger, S. Brenner, C. Milstein, G. Köhler, J. Watson y F. Crick, fueron fundamentales en el establecimiento de la biología molecular, aunque tradicionalmente se considera al descubrimiento de la estructura del DNA por parte de Crick y Watson como el evento que catapultó el desarrollo de la biología molecular. Siguiendo el planteamiento de De

²⁹ A partir del tipo de decisiones se ha generado una diversificación de políticas públicas que pueden ser de promoción, regulación y evaluación de la ciencia y la tecnología. Dentro de las políticas de promoción se encuentran las políticas de Investigación y Desarrollo (I+D), estas políticas fueron fundamentales para el desarrollo de la ciencia en la etapa de posguerra debido al impulso que daban a diferentes empresas para promover el desarrollo tecnológico. Krugman, P (2002): *Introducción a la economía: macroeconomía*. Editorial Reverté, Barcelona, 488 pp.

³⁰ De Chadarevian, S. *Op. cit.*, nota 22, p. 87

³¹ En 1946, en la Universidad de Pensilvania, fue ensamblada ENIAC, la primera computadora en la historia de la humanidad. Un año después, en 1947, otro invento que contribuiría a revolucionar la biología fue el desarrollo del transistor por la división de investigación y desarrollo (I+D) de AT&T. En los años siguientes el desarrollo científico y tecnológico en los Estados Unidos, permitió elaborar la primera computadora con un programa de instrucciones integrado. Y para la década de los cincuenta ya existían las primeras computadoras en el mundo con aplicaciones para almacenar y procesar información de censos norteamericanos e integrarse en el mundo de los negocios. En 1959 los transistores sustituyeron a los bulbos y para 1969, estos serían sustituidos por circuitos integrados (chips). Estos inventos constituyeron los primeros productos que posibilitaron el surgimiento de las tic, y una nueva fase en la historia humana.

Chadarevian, fue el conjunto de hallazgos realizados principalmente por el grupo de estudio de las estructuras moleculares, lo que posibilitó la consolidación de esta área de estudio.

Al referirse al auge de la biología molecular después de la SGM, el historiador Edward Yoxen sugirió que la biología molecular alcanzó su gran nivel de desarrollo en el siglo XX debido al establecimiento de ciertas políticas científicas, que después de la guerra destinaron recursos económicos hacia proyectos de investigación específicos³². Como se mostró anteriormente la aportación de las ciencias físicas fue un elemento determinante en la consolidación de esta disciplina.

En la década de los sesenta como resultado de la postura de los científicos frente a la guerra; el surgimiento de una conciencia crítica con respecto a los efectos del modelo de desarrollo científico y tecnológico impulsado principalmente por la política científica estadounidense, así como el despertar de una conciencia global (a partir de la década de los sesentas) sobre el paradigma ambiental y los retos que enfrentaría la humanidad. Se comenzó a definir el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad.

En la actualidad, el enfoque CTS constituye un campo multidisciplinario que parte de la consideración de que la investigación científica y tecnológica en la actualidad, está vinculada al contexto social. Para ello cuestiona desde una perspectiva social las aportaciones de la Ciencia y Tecnología por las consecuencias sociales, ambientales, económicas, políticas y éticas que pueden tener³³. En un artículo publicado en 2001, Sanmartín y Luján mencionan que dentro de los factores que influyeron en el surgimiento del enfoque CTS se encuentran: la necesidad de gestionar los grandes laboratorios industriales y militares y los centros de investigación y desarrollo (I+D), asociados a la *big science* y la *high technology*; La necesidad de crear instituciones y formar expertos en política científico-tecnológica y evaluación de tecnologías; y la aparición de investigaciones, sobre todo desde la sociología del conocimiento, que cuestionan la imagen tradicional de la ciencia y la tecnología como actividades aisladas del contexto social, político y económico³⁴.

Hacia finales de la década de los sesentas el Consejo Nacional de Investigación (NRC por sus siglas en inglés *National Research Council*) de los Estados Unidos, publicó el informe titulado “La biología y el futuro del hombre” (*Biology and the future of man*)³⁵. Este reporte fue editado por el entonces presidente de la Academia Nacional de Ciencias (*National Academy*

³² De Chadarevian, S. *Op. cit.*, nota 22, p. 87

³³ Jiménez, Luis Felipe *et al.* (2006): *Conocimientos Fundamentales de Biología. Vol. I.* Pearson Educación, México, pp. 10-15

³⁴ Acevedo Díaz, J. A. *et al.* (2001), *El Movimiento Ciencia-Tecnología-Sociedad y la Enseñanza de las Ciencias*. Obtenida el 28 de Noviembre de 2010 en *Sala de lectura CTS+I*, de: <http://www.oei.es/salactsi/acevedo13.htm>

³⁵ National Association for the Advancement of Science (1966), *Biology and the future of man*, Obtenida el 29 de Noviembre de: <http://profiles.nlm.nih.gov/ps/access/BBGNKT.pdf>

of Sciences) Philip Handler, como parte de un programa de revisión de disciplinas científicas, que para esa fecha ya había presentado los reportes en áreas como la física, la química, la astronomía y las computadoras digitales.

Dentro del panel de biólogos que elaboraron el reporte se encontraban T. Dobzhansky, R. Dubos, D. R. Goddard, J. Lederberg, J. V. Neel, F. Notestein y R. R. Revelle. Un aspecto importante de este reporte, que expone la inclusión del enfoque CTS en la biología, es la reflexión sobre la guerra, las consecuencias de un posible holocausto nuclear y el futuro del ser humano. En este reporte se menciona que:

el futuro para los seres humanos solo se puede garantizar cuando se reconozca el peligro de la guerra moderna y se abandonen los artefactos de la guerra³⁶.

Veinte años después de la publicación del reporte “La biología y el futuro del hombre”, en 1989, el NRC de los Estados Unidos escribió el reporte titulado “Oportunidades en Biología” (*Opportunities in biology*). En este documento se plantearon las preguntas más representativas para las principales subdisciplinas de la biología, y se hicieron recomendaciones sobre las áreas de oportunidad para la investigación³⁷.

Uno de los aspectos más importantes de este informe es el énfasis que se hace en la construcción de un enfoque distinto al planteamiento reduccionista de algunas de las disciplinas de la biología, entendido como una aproximación metodológica que pretendía llevar los problemas de la biología a un desglose de sus partes. El cambio de esta visión generó la denominada nueva biología. Este nuevo enfoque promueve una aproximación que aborde los problemas de forma colaborativa y multidisciplinaria.

Para dar continuidad al proyecto previo, en julio de 2008, diferentes dependencias e institutos de los Estados Unidos encomendaron al Consejo Nacional de Investigación en Ciencias de la Vida (*National Research Council's Board on Life Sciences*), la elaboración de un documento para examinar el estado general de la investigación biológica en los Estados Unidos. Uno de los objetivos que se plantea en dicho informe, es:

examinar las áreas de oportunidad en la investigación biológica en los Estados Unidos y recomendar la inversión en aquellos avances científicos y tecnológicos que hubieran permitido a los biólogos, integrar descubrimientos derivados de la investigación biológica, recolectar grandes cantidades de datos y la predecir el comportamiento de sistemas complejos³⁸.

³⁶ National Association for the Advancement of Science, *Op. cit.*, nota 34

³⁷ Estas eran; 1) La nueva biología; 2) biología estructural, 3) los genes y la célula; 4) desarrollo; 5) el sistema nervioso y el comportamiento; 6) El sistema inmune y las enfermedades infecciosas, 7) Evolución, sistemática y ecología; 8) Biología de plantas y agricultura; y 9) Infraestructura de la biología e investigación. National Research Council (1989), *Committee on Research: Opportunities in biology*, National Academy Press, Washington, D.C., 450 pp. Obtenida el 30 de Noviembre de: http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=742&page=R9

³⁸ National Research Council (2009), *A new biology for the 21st century*, National Academy Press, Washington, D.C., 98 pp.

El documento que se elaboró tiene por título "Una nueva biología para el siglo XXI" (*A new biology for the 21st century*). Como se expone en la figura 1, en este documento se manifestó la importancia de integrar distintas subdisciplinas de la biología, junto con el enfoque derivado de otras áreas de la ciencia como la física, química, ciencias de la computación, matemáticas e ingeniería, para generar una comunidad científica capaz de dar respuesta a una amplia gama de problemas científicos y sociales. Un aspecto importante que se menciona es que la nueva biología no pretende reemplazar la investigación actual, sino servir como punto de unión entre diferentes disciplinas para abordar problemas sociales actuales.

Puede decirse que desde su surgimiento, el movimiento CTS en las ciencias se presentó como una posibilidad de reorientar el desarrollo científico y tecnológico. En el caso de la biología, en la actualidad se remarca la importancia de las innovaciones que tengan como objetivo los retos del desarrollo sostenible y la preservación de la naturaleza.

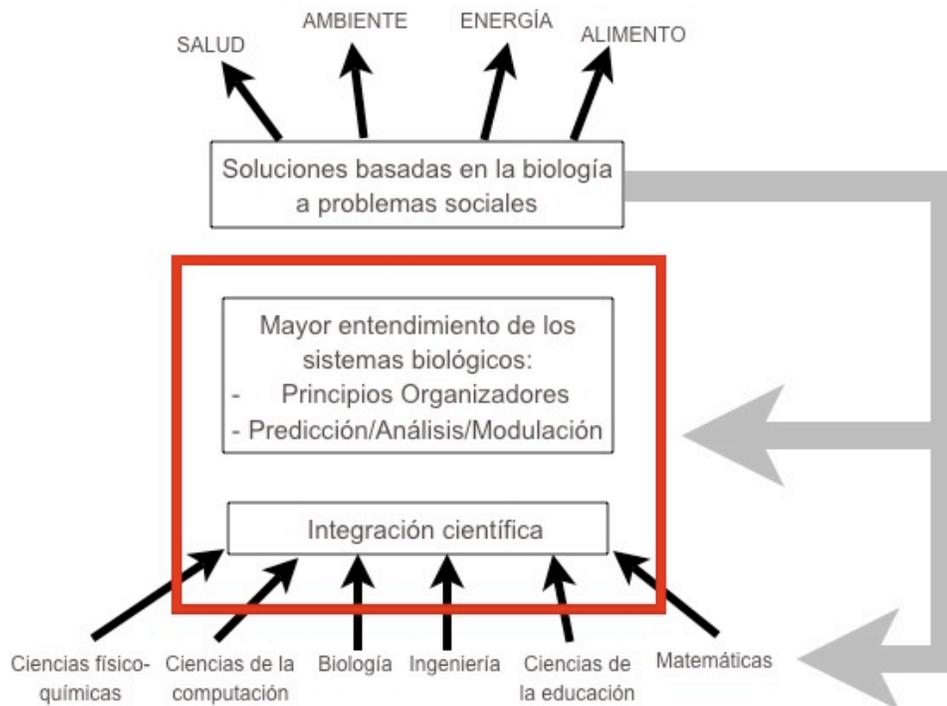


Fig. 1 Imágen traducida del original en el documento "*New biology for the 21st century*".

La importancia de este movimiento se hizo notoria desde la década de 1960 con el reporte "La biología y el futuro del hombre", y posteriormente con el documento elaborado a finales de la década de los ochentas, "Oportunidades en Biología" (*Opportunities in biology*).

Como se menciona en el documento "Una nueva biología para el siglo XXI", una de las aproximaciones más recurrentes en ciertas áreas de la investigación biológica en las últimas décadas parte del estudio de los sistemas complejos para caracterizar distintos fenómenos biológicos. Como lo menciona García, los sistemas complejos constituyen, por una parte, una metodología de trabajo interdisciplinario y por otra, un marco conceptual que fundamenta el trabajo interdisciplinario siguiendo ciertos principios epistemológicos³⁹.

El documento "Una nueva biología para el siglo XXI", toma como referencia los problemas sociales que enfrentamos en la actualidad remarcando su orientación CTS, a través de cuatro ejes, los cuales se describen brevemente a continuación.

- a) Alimentación: En este rubro se describe la importancia de generar variedades de plantas que crezcan de forma sostenible considerando las condiciones locales. A través del auge en este proyecto de investigación se pretende que se pueda generar un acervo de conocimiento, herramientas y tecnologías que permitan generar cultivos adaptables a los diferentes entornos y combatir de esa forma los problemas alimenticios en los diferentes países del mundo.
- b) Ambiente: En esta sección se describe la rapidez con la que la actividad humana transforma el ambiente, y se hace énfasis en la necesidad de contar con nuevas herramientas y tecnologías que permitan monitorear el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas y la biodiversidad que albergan. La intención de este rubro es incrementar la capacidad de respuesta para proteger y restaurar el funcionamiento de los ecosistemas.
- c) Energía: Se plantea la importancia de aprovechar la biomasa para generar biocombustibles, a partir del procesamiento industrial de la celulosa, de forma que sea posible mitigar los efectos de la generación de gases que afectan el sistema de la atmósfera.
- d) Salud: Se aborda el desafío de generar un esquema de medicina personalizada que permita elaborar diagnósticos y tratamientos de forma individual. El punto de partida lo

³⁹ García, R. (2006) *Sistemas Complejos: Conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Editorial Gedisa, España. 200 pp.

constituye el desarrollo de herramientas que permitan caracterizar el genoma humano y desarrollar nuevas metodologías que promuevan la medicina predictiva.

Como extensión del movimiento CTS se constituyeron los estudios de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación (CTS+I), estos representan un campo de trabajo interdisciplinario en educación, investigación y política pública, que se centra en los aspectos sociales de la ciencia y la tecnología, tanto en lo que concierne a sus condiciones sociales como en lo que atañe a sus consecuencias sociales, políticas, económicas, éticas y ambientales.

La información expuesta en este inciso mostró que como consecuencia de los avances científicos y tecnológicos durante la SGM, se puede vincular el origen de la biología molecular con los laboratorios de biofísica, que definieron buena parte su investigación durante el periodo de la guerra. También se demostró la forma como se estableció el enfoque CTS y las repercusiones que tuvo para la biología. En el siguiente inciso se abordará la tercera línea de investigación.

1.1.3 La era postgenómica y el surgimiento del biocapital

El objetivo de este inciso es analizar brevemente la influencia de algunos elementos característicos de la tercera revolución industrial en el desarrollo de la biología durante la última parte del siglo XX y principios del XXI. Para lograrlo, como punto de partida se abordan brevemente los hallazgos más representativos sobre la naturaleza del gen y el proceso que llevó al establecimiento de la era postgenómica. En la parte final del inciso se define el concepto de biocapital.

Una vez que los genes se convirtieron en algo concreto, localizados en los cromosomas en el núcleo celular, y cuyo mecanismo de acción pudo ser parcialmente caracterizado a través de las leyes de la herencia. En los años siguientes una de las preguntas más importantes que trató de responder la genética fue el problema de la naturaleza química del gen. La respuesta a esta interrogante llegó en 1944, cuando O. Avery, C. McLeod y M. McCarty, en el Instituto Rockefeller de los Estados Unidos, demostraron que el material hereditario era el DNA. Este hecho permitió descartar la hipótesis de que las proteínas eran las moléculas responsables de la herencia.

En el Laboratorio de Cold Spring Harbor en los Estados Unidos, en el periodo entre 1940 y 1973, en a través del estudio de los virus y las bacterias como modelos

experimentales, científicos como: M. Delbrück, S. Luria, A. Hershey, E. Ellis y M. Chase, hicieron importantes aportaciones para el desarrollo de la genética y contribuyeron de forma importante en la consolidación de la biología molecular⁴⁰.

En el libro *DNA: El secreto de la vida*, J. Watson⁴¹ narra la serie de eventos que sucedieron el hallazgo de la estructura del DNA en 1953, y condujeron al esclarecimiento del código genético por parte de F. Crick y S. Brenner en 1961. Durante la década de los sesenta las técnicas de secuenciación de RNA y DNA permitieron orientar el rumbo de la investigación, estas técnicas tuvieron su mayor desarrollo con el trabajo de Sanger y su equipo en la Universidad de Cambridge.

La implementación de las técnicas de secuenciación y el desarrollo de una nueva generación de herramientas moleculares para manipular el DNA, entre las que se encuentran las enzimas de restricción, las ligasas, las DNA polimerasas y las transcintasas, por parte de científicos como: A. Kornberg, M. Gellert, B. Lehman, W. Arber, S. Cohen y H. Boyer⁴², posibilitaron el diseño de nuevos experimentos y definieron una nueva área de la genética denominada ingeniería genética. Con los avances descritos, la historia de la biología molecular llegó a un punto de inflexión que condujo al establecimiento de nuevas áreas y tecnologías que redefinirían el papel de la biología entre las ciencias y su relevancia social.

Las tecnologías biológicas que se desarrollaron a partir de la década de los sesenta forman parte de las *hard technologies*. La investigadora Zhouying Jin identificó estas tecnologías (junto con las tecnologías de la información, las tecnologías de red y las tecnologías robóticas), como los elementos más importantes para dar cohesión a la tercera revolución industrial. Entre las *soft technologies* se encuentran nuevos modelos empresariales, la generación de compañías transnacionales, el capital de riesgo tecnológico, tecnologías virtuales y sistemas de administración multinacionales. Estos cómo se mostrará más adelante permiten caracterizar el desarrollo de la biología en la última parte del siglo XX.

El primer genoma completo secuenciado se obtuvo en 1975 por parte de W. Fiers en la Universidad de Ghent en Bélgica, se trató del genoma del bacteriófago MS2, constituido por 3,569 nucleótidos. Con el surgimiento de los principios de las técnicas de secuenciación de ADN en los sesentas, la velocidad a la que se caracterizaron secuencias se incrementó de forma exponencial. Este avance, mediado en gran parte por el desarrollo de nuevas

⁴⁰ M. Delbrück y S. Luria recibieron el premio Nobel en por sus hallazgos sobre la resistencia de las bacterias a los virus a través de mutaciones genéticas. A. Hershey y M. Chase realizaron una serie de experimentos en la década de los cincuenta que permitieron corroborar que el DNA era el material genético

⁴¹ Watson, J. (2004): *DNA: The secret of life*. Knopf Doubleday Publishing Group, 464 pp.

⁴² En la década de los cincuenta A. Kornberg identificó la DNA polimerasa, pero fue hasta 1967 cuando Gellert y Lehman, de la Universidad de Stanford, identificaron la enzima ligasa, que se pudieron unir por primera vez secuencias de DNA.

tecnologías y la disminución de los costos asociados al proceso de secuenciación, propició que diferentes gobiernos del mundo implementaran una serie de políticas científicas que tenían como objetivo generar bases de datos para almacenar y facilitar el acceso a las secuencias de ADN y ARN a medida que se obtenían⁴³.

Hacia el final del siglo XX se consolidó el área de la biología denominada genómica. Con ello comenzó una nueva era que enfatizó el estudio de genomas completos. Durante la primera etapa se determinaron las secuencias de genomas completos y su papel en la estructura de las proteínas (genómica estructural). A continuación se comenzaron a realizar investigaciones para determinar la función específica de la expresión de diferentes secuencias (genómica funcional), y en una etapa posterior se utilizó la información proveniente de la genómica estructural y la genómica funcional en aspectos relacionados con la salud humana y el mejoramiento de plantas y animales (genómica aplicada)⁴⁴.

El surgimiento de nuevas áreas de investigación biológica, así como la dotación de infraestructura tecnológica, que se incorporó en la práctica de la biología a partir de la década de los setenta en la forma de computadoras y dispositivos para el almacenamiento de información, hizo evidente la incursión de la biología en la tercera revolución industrial.

En todo el mundo comenzaron a establecerse sedes para almacenar las bases de datos. De esta forma el *European Molecular Biology Laboratory (Laboratorio Europeo de Biología Molecular)* creó, a finales de los setentas, la base de datos *EMBL Data Library*. En 1982 el gobierno estadounidense, a través del Laboratorio Nacional de los Álamos, puso en marcha una nueva base de datos denominada *GeneBank*, que en 1988 fue trasladada al Centro Nacional de Información Biotecnológica (*NCBI*), con sede en Maryland, E.U.A. En la actualidad este proyecto es de gran relevancia a nivel mundial, sirve como acervo de más de 90 millones de secuencias y almacena cerca de 100 billones de pares de bases⁴⁵. En 1988 la información almacenada en el *EMBL Data Library* y *GeneBank* fue incorporada en EMBnet, una red internacional de bases de datos.

A partir de la década de los setenta, una nueva fuerza laboral comenzó a ocuparse de nuevos problemas en la biología. Los biólogos que se enfocaron en la bioinformática, área de la biología que incorporó en una nueva ciencia las herramientas y técnicas de diferentes disciplinas; la biología molecular (fuente de la información a ser analizado), las ciencias de la

⁴³ Board on Life Sciences, (2004) *Seeking security: Pathogens, Open Access, and Genome Data Bases*. National Academy Press, Washington, D.C, 74 pp.

⁴⁴ Gupta, P. (2009): *Biothechnology and Genomics*, Capital Offset Press, New Delhi, 2-13 pp.

⁴⁵ Obtenido de *GenBank*, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/genbankstats.html>

computación (que proveerían el *hardware* para generar los análisis y las redes para comunicar los resultados), y los algoritmos para el análisis de la información, exponen la importancia del proceso de enriquecimiento informativo y la generación de sistemas para interpretar y analizar la información.

Junto con el desarrollo de la genómica, el desarrollo de la industria biotecnológica tendría importantes consecuencias para la biología. En la década de 1970 S. Cohen en la universidad de Stanford y H. Boyern de la Universidad de California, abrieron el camino de una nueva área de desarrollo que integraría el conocimiento sobre los genes y la recombinación de ADN, sentando las bases de la clonación. En 1977 se cosecharían los primeros frutos de su trabajo al clonar el primer gen humano.

En la década de 1980 comenzó la carrera por comercializar los productos biotecnológicos. Esta situación llevaría por un lado, al establecimiento de marcas comerciales derivadas de universidades y centros de investigación hospitalarios, como Genetech, Cetus y Biogen, y por otro lado a la posibilidad de que generaran organismos modificados genéticamente que se comercializarían en diferentes actividades. Sin embargo los cuestionamiento legales derivados de preocupaciones éticas y de seguridad, así como dificultades técnicas, retrasaron la revolución biotecnológica, y propiciaron que las cadenas biotecnológicas fueran absorbidas por compañías farmacéuticas.

Hacia finales de los ochentas la Universidad de Harvard patentó un ratón manipulado genéticamente y para 1989 en las universidades de Michigan y Toronto se descubrió el gen responsable de la fibrosis cística.

Las expectativas generadas por este tipo de hallazgos fueron un factor clave en el financiamiento de 3.000 millones de dólares que se otorgaron al programa con objetivos a quince años, coordinado por James Watson. Para identificar y localizar los genes que integran el genoma humano.

El incremento en la cantidad de estudios prospectivos que se realizan actualmente sobre las aplicaciones que podría tener la información contenida en los genomas humanos y no humanos, por la industria biomédica, así como los intereses de empresas trasnacionales biotecnológicas, han suscitado nuevos enfoques para el estudio de los eventos que ocurren actualmente en la biología.

Actualmente se hace referencia a la era postgenómica para referirse a la serie de avances científicos, tecnológicos y económicos que han tenido lugar a partir de la identificación de genomas (humanos y no-humanos), que constituyen la base de un nuevo

paradigma en la biología y han generado una nueva faceta de investigación en torno a lo vivo.

En el libro "*Biocapital: the constitution of postgenomic life*", Sunder Rajan plantea desde el análisis de los contextos norteamericano e indio, que la orientación de las diferentes biotecnologías, así como la genómica, puede ser entendida únicamente en relación al mercado económico del que emergió. A partir del trabajo de campo que realizó en empresas biotecnológicas en San Francisco, Bombay y Nueva Delhi, plantea un marco teórico que integra ideas del capitalismo y el marxismo, así como nociones sobre biopolítica de Foucault, para argumentar un nuevo capitalismo tecnocientífico, que puede ser abordado desde la fusión de la biotecnología en la dinámica del mercado.

El auge de la industria biotecnológica y las promesas en torno a la medicina predictiva, se han involucrado en una dinámica que implica la elaboración de productos y beneficios económicos. Este punto expone en buena medida algunas de las propiedades que han emergido de la tercera revolución industrial en la biología.

1.2 La biología como contenido curricular

En el inciso anterior se mencionó la importancia del desarrollo científico y tecnológico en las ciencias biológicas, durante las últimas décadas del siglo XX, para dimensionar el papel de la biología como disciplina frente a los nuevos desafíos sociales. Un aspecto importante de analizar para los objetivos de esta tesis, es la relación asincrónica entre los cambios en la ciencia y la tecnología, y la transformación de los sistemas educativos. Para abordar este problema, como punto de partida se plantea la pregunta, ¿qué conocimientos forman parte de los contenidos curriculares de los cursos de biología en la actualidad?

Para intentar dar respuesta esta pregunta a continuación se analizan de forma sintética dos propuestas didácticas. El objetivo de este inciso es identificar las similitudes y las diferencias entre ambas propuestas y su representatividad en el contexto actual del desarrollo de la biología que se examinó en el inciso anterior, así como analizar el planteamiento didáctico que se hace con respecto al uso de las nuevas tecnologías en la enseñanza de esta ciencia.

La primera propuesta a revisar es el libro *Conocimientos Fundamentales de Biología (CFB)*. Este libro, cuya primera edición se publicó en 2006, forma parte de la Colección Conocimientos Fundamentales para Bachillerato, y fue elaborado por representantes de la

Secretaría de Desarrollo Institucional, la Escuela Nacional Preparatoria, el Colegio de Ciencias y Humanidades y el Consejo Académico del Bachillerato de la UNAM. La segunda propuesta, el *Libro de Biología para el Maestro (The biology teacher's handbook)* fue escrito por la Asociación Nacional de Maestros de Ciencia de los Estados Unidos, su cuarta versión se publicó en 2009.

Aún cuando estas propuestas fueron elaboradas en contextos tan distintos como los son México y Estados Unidos, y pese a que se enfocan a poblaciones distintas (ya que *Conocimientos Fundamentales de Biología* está dirigido a alumnos de bachillerato mientras que el *Libro de biología para el maestro* es una propuesta dirigida a docentes), constituyen dos propuestas que tienen como objetivo definir lo fundamental de una disciplina científica para ser enseñado en las aulas. Si este conocimiento es universal, es posible hacer la comparación y extraer conclusiones.

1.2.1 Características generales de las propuestas

A continuación se muestra la revisión de las características generales de las propuestas, se comienza con el planteamiento disciplinario describiendo los ejes principales en torno a los cuales se elaboraron, y después se aborda el contexto pedagógico haciendo énfasis en la inclusión del elemento tecnológico.

Conocimientos Fundamentales de Biología

El libro *Conocimientos Fundamentales de Biología* tiene como principal objetivo definir el acervo de conocimientos fundamentales con el que deben contar los alumnos al terminar el ciclo de educación media. Los conocimientos fundamentales representan:

*los saberes básicos con los que deben contar los alumnos al término del bachillerato, desde un perspectiva actualizada de la biología, congruente con el contexto educativo y que impulse una visión interdisciplinaria de la ciencia*⁴⁶.

El planteamiento temático que se hace en los dos volúmenes que integran este libro es muy importante para este trabajo, porque constituye un primer acercamiento a un acervo de información validado por la comunidad científica, y distintos sectores de la comunidad educativa en educación media. El libro *Conocimientos Fundamentales de Biología*, consta de dos volúmenes que abarcan un total de seis módulos, los cuales son:

⁴⁶ Jiménez, Luis Felipe et al. *Conocimientos Fundamentales de Biología. Vol. I.* Pearson Educación, México, 2006. Vol 1. 175 pp.

1. La biología como ciencia: en el primer módulo se describen los aspectos epistemológicos e históricos que fundamentan a la biología como disciplina científica. Para esto se analizan las principales características de los seres vivos, así como las distintas formas de abordar su estudio, y se presenta una reconstrucción histórica que tiene como objetivo resaltar la importancia de esta ciencia en la actualidad. También describe tres de las generalizaciones más importantes para la biología: la teoría celular, la teoría de la evolución y la teoría del gen, vistas como los elementos que posibilitaron la unificación de esta ciencia.

2. Biología celular, molecular y bioquímica: en el segundo módulo se analiza la célula como la unidad fundamental de los seres vivos. En primera instancia se abordan las diferencias entre las células eucariontes y procariontes; mencionando los organelos que conforman a las primeras, los componentes moleculares, las funciones que realizan, los diferentes procesos celulares y las generalidades del ciclo celular. En otro apartado se analiza la importancia del concepto de multicelularidad, y finalmente se exponen las diferencias entre la reproducción sexual y asexual.

3. Genética: en el tercer módulo se analiza la importancia del concepto de la herencia. Se parte de los postulados y la ley definidos por Mendel. A continuación se describe la forma como se descifró la configuración molecular del gen y su papel en la expresión de la información que contiene en la célula. En la última parte se abordan diferentes aspectos de la biología genómica, los productos transgénicos y técnicas de manipulación del DNA, enfatizando sus implicaciones en la medicina y la sociedad.

4. Evolución: el cuarto módulo comienza con un análisis de la teoría evolutiva a través de las evidencias evolutivas y el proceso evolutivo a través de los aspectos más representativos de las diferentes eras geológicas. A continuación se describe el desarrollo histórico del programa evolucionista y se menciona la importancia de la Síntesis Moderna. Para terminar se describe el significado evolutivo de la variación en la naturaleza, las fuentes de variación y los distintos procesos evolutivos.

5. Ecología: en el quinto módulo se revisan aspectos históricos y los niveles de estudio en la ecología. Se comienza con la caracterización del ambiente y después se retoman las particularidades de la ecología de poblaciones, la ecología de comunidades y la ecología ecosistémica. Se resalta entre otros aspectos; los modelos matemáticos que describen las relaciones entre los seres vivos y el ambiente

6. Biología y sociedad: en el sexto módulo se analiza la manera en que la sociedad obtiene y utiliza el conocimiento biológico de diferentes maneras. Se comienza explicando la relación

entre sociedad y naturaleza, a continuación se expone la relación entre el ambiente y el desarrollo sostenible . Finalmente se describen las generalidades del enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad y se retoman algunos aspectos de la biomedicina, el Proyecto Genoma Humano y el desarrollo biotecnológico.

El libro contiene elementos constructivistas y resalta la importancia del componente histórico⁴⁷. Al final de cada uno de los temas que se revisan en los diferentes módulos se incluyen: un resumen, un listado de los términos fundamentales, distintas actividades de aprendizaje y una autoevaluación. En la parte final del módulo se incluyen una serie de mapas conceptuales para retomar los conceptos fundamentales desarrollados.

La propuesta cuenta con una página de Internet en la que está disponible únicamente el primer tema del módulo uno⁴⁸. El libro incluye un CD que contiene la versión digital del libro, algunas biografías, imágenes y animaciones, a través de hipervínculos, así como algunos extractos de textos elaborados por personajes relevantes en el desarrollo de la biología.

El Libro de Biología para el Maestro (*The biology teacher's handbook*)

El *Libro de Biología para el Maestro* es el resultado de un proyecto que inició en la década de los sesenta con el objetivo de estudiar el currículo de biología en Estados Unidos, para generar una serie de recomendaciones sobre como orientar y estructurar la enseñanza de esta ciencia. La primera edición se publicó en 1960, la segunda y la tercera ediciones se publicaron en 1963 y 1978 respectivamente. Durante la década de los ochentas el libro se dejó de imprimir, pero gracias al apoyo de la Asociación Nacional de Maestros de Ciencia de Estados Unidos, en 2009, se elaboró la cuarta edición, que es la que se analiza en esta sección.

De forma general en el libro se plantean cinco secciones que atienden a preguntas guía para orientar a los docentes en la definición de los objetivos de los cursos que elaboran. La primera sección parte de la pregunta, ¿cuáles son las metas del programa para los estudiantes y los docentes? Se comienza con una reseña sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje; a continuación se aborda la forma en que el entendimiento de los aspectos que definen el proceso enseñanza-aprendizaje se aplica en los alumnos considerando las

⁴⁷ Jiménez, Luis Felipe *et al.* *Conocimientos Fundamentales de Biología. Vol. I.* Pearson Educación, México, 2006. Vol 1. 175 pp.

⁴⁸ <http://www.conocimientosfundamentales.unam.mx/vol1/biologia/index.html>

diferencias étnicas, de género y sociales. En la última parte se presentan los seis principios unificadores de la biología, y se definen conceptos específicos cuya comprensión es particularmente complicada para los alumnos.

La segunda sección parte de la pregunta, ¿cómo se puede ayudar a los estudiantes a entender la naturaleza de la ciencia? Se proveen los fundamentos de la enseñanza reflexiva o por indagación en el contexto definido en los *National Science Education Standards*.

La tercera sección abarca la pregunta, ¿cómo se enseñan temas conflictivos? En esta sección se describen tres tipos diferentes de controversias y se ofrecen recomendaciones para abordar problemas sociales.

La cuarta sección se basa en la pregunta, ¿cómo es posible crear una cultura de indagación científica en el aula? Se desarrollan componentes didácticos y diferentes estilos para motivar a los alumnos a cuestionarse sobre los diferentes conceptos biológicos.

La última sección se basa en la pregunta, ¿dónde ha estado y hacia dónde se dirige la enseñanza de la biología? Se aborda desde una perspectiva histórica la enseñanza de la biología con énfasis en el papel del Grupo de Estudios Curriculares de las Ciencias Biológicas (*Biology Science Curriculum Studies*).

Los ejes a través de los cuales se promueve la enseñanza de la biología son seis principios unificadores. Estos representan una base para la enseñanza de esta disciplina y constituyen una guía para organizar la revisión de los contenidos curriculares. A continuación se mencionan los elementos centrales que abordan los diferentes principios:

1. **Evolución. Patrones y productos del cambio:** el primer principio aborda el cambio en los seres vivos a lo largo del tiempo para interpretar la diversidad biológica.

2. **Interacción e interdependencia:** el segundo principio plantea el hecho de que los seres vivos interactúan con el ambiente y son interdependientes con otros sistemas.

3. **Continuidad genética y reproducción:** el tercer principio expone el hecho de que en todos los seres vivos la vida es un flujo continuo de información que se trasmite de generación en generación.

4. **Crecimiento desarrollo y diferenciación:** el cuarto principio se refiere a que todos los seres vivos crecen, se desarrollan y diferencian basados en programas genéticos que son influidos por el ambiente.

5. **Energía, Materia y Organización:** el quinto principio explica que los sistemas vivos son sistemas altamente organizados y complejos, que requieren un flujo constante de materia y energía para mantener esta organización.

6. **Mantenimiento del equilibrio dinámico:** el sexto principio se refiere a la capacidad de los seres vivos para mantener en condiciones relativamente estables su ambiente interno a través de mecanismos regulatorios y conductuales.

La propuesta enfatiza el papel del constructivismo en el aprendizaje, y remarca la importancia de abordar los problemas sociales desde la perspectiva de la biología como una ciencia unificada, a través de los principios unificadores. No cuenta con materiales complementarios ni página de Internet.

1.2.2 Diferencias y similitudes entre las propuestas

A partir de la descripción de los ejes en los que se estructuraron las propuestas y los elementos pedagógicos, a continuación se analizan las diferencias y similitudes. La finalidad de esta interpretación es identificar los elementos más representativos para utilizarlos como ejes de referencia teórica en la definición de la propuesta que se presenta.

Diferencias

La primera diferencia, que se mencionó anteriormente, es el hecho de que *Conocimientos Fundamentales de Biología* es un libro mexicano escrito por especialistas de la biología y la educación, que constituye un acervo de conocimientos para alumnos de bachillerato. Mientras que el *Libro de Biología para el Maestro* es un libro norteamericano escrito por especialistas y docentes pero dirigido a los maestros del grado equivalente al bachillerato, su principal objetivo es orientar la elaboración de la estructura de los cursos que imparten. Esta situación representa una buena oportunidad para analizar la forma como se define lo fundamental de la disciplina como contenido y como propuesta de enseñanza.

La segunda diferencia la representa el hecho de que el libro de biología para el maestro promueve el desarrollo curricular a partir de los seis principios unificadores expuestos anteriormente. Se enfatiza que los programas individuales pueden remarcar aspectos moleculares, sistémicos, niveles de organización ecológica o basarse en la solución de problemas sociales, pero los principios unificadores deben constituir la base del conocimiento biológico en todos los programas contemporáneos de esta disciplina.

En el libro *Conocimientos Fundamentales de Biología* no se cuenta con un planteamiento específico que parta de una propuesta unificada en este sentido. En el primer

módulo se abordan la teoría evolutiva, la teoría celular y la teoría del gen como las teorías que permitieron consolidar la biología como una ciencia unificada. Por otro lado, en los módulos uno y cuatro, se hace referencia a las características distintivas de los seres vivos, pero en relación a conceptos que se tratan de forma independiente cuando en la propuesta norteamericana constituyen principios unificadores.

La tercera diferencia la representa la forma en que se aborda la inclusión del enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad. En *Conocimientos Fundamentales de Biología* se incluye como un tema en el módulo seis, destacando la importancia de estos tres componentes en la configuración de áreas y problemas biológicos contemporáneos como el genoma humano y los alimentos transgénicos. En el *Libro de Biología para el Maestro*, la aproximación que se sugiere para aproximarse a estos temas propone que se haga desde el enfoque unificado de la biología, tratando de identificar estos fundamentos en los temas que se desarrollan.

En el aspecto pedagógico existen varias diferencias. *El Libro de Biología para el Maestro* enfatiza la importancia de promover una cultura de indagación científica en el aula, y considerar las diferencias étnicas y sociales en el planteamiento curricular. El libro *Conocimientos Fundamentales de Biología* los conocimientos sobre la diversidad cultural que se presentan en el sexto módulo son muy limitados, y las actividades de aprendizaje más que promover la indagación se centran en la asimilación de contenidos. En esta propuesta se destaca la importancia de los mapas conceptuales para sistematizar los conocimientos.

Con respecto a la inclusión del componente tecnológico, *Conocimientos Fundamentales de Biología* incluye un CD con material complementario y cuenta con una página en Internet en la que es posible consultar el primer tema. El *Libro de Biología para el Maestro* no hace mención de este componente.

Similitudes

Las similitudes entre las propuestas se observan principalmente en la correspondencia entre los principios unificadores "interacción e interdependencia" y "evolución: patrones y productos del cambio", con los módulos tres y cuatro "evolución" y "ecología", respectivamente.

La revisión que se hizo en el primer inciso permitió identificar la ratificación de la evolución como el principio unificador más importante para la biología. En ambas propuestas la evolución constituye un núcleo temático. En el caso de *Conocimientos Fundamentales de*

Biología, se presenta como un módulo que consta de cuatro subtemas, mientras que en *el Libro de Biología para el Maestro*, constituye el principio unificador; “Evolución: patrones y productos del cambio”.

El tercer módulo de *Conocimientos Fundamentales de Biología* es “Ecología”, al igual que el principio “interacción e interdependencia” del *Libro de Biología para el Maestro*, propone una aproximación a esta ciencia biológica en función de la revisión de los principales conceptos ecológicos y los diferentes niveles de estudio de esta ciencia: la ecología orgánica, de poblaciones, de comunidades y de ecosistemas.

En el aspecto pedagógico ambas propuestas coinciden en retomar los postulados de la corriente constructivista.

En este inciso se compararon dos propuestas para la enseñanza de la biología. Los aspectos más importantes que se generaron a partir del análisis son la importancia de estructurar un curso de biología a partir de los principios unificadores, la base constructivista que fundamenta ambas propuestas y un aprovechamiento muy limitado del componente tecnológico.

1.3 Pedagogía y didáctica de la biología

El análisis de los fundamentos pedagógicos y didácticos se centra principalmente en la incorporación de los elementos característicos de la tercera revolución industrial en la enseñanza de la biología. El objetivo del capítulo es identificar las teorías pedagógicas y los principales elementos tecnológicos que se emplean en la enseñanza de esta disciplina, para adaptar a la propuesta didáctica aquellos que se consideren pertinentes.

Antes de abordar algunos de los cambios generados por la incorporación de las tecnologías en la enseñanza, se presentan en primera instancia las características generales de los modelos predominantes en la enseñanza de la ciencia durante la segunda mitad del siglo XX.

Aunque los orígenes del debate sobre el vínculo entre ciencia y educación se remontan al siglo XIX en Estados Unidos y algunos países europeos, fue hasta 1957 con el lanzamiento del satélite “Sputnik 1”, por parte de la Unión Soviética, que se hizo evidente la necesidad de una reforma en la educación científica y tecnológica en los Estados Unidos y otros países

desarrollados⁴⁹.

El principal objetivo que se definió para la reforma educativa que comenzó en la década de los cincuenta, fue la formación de recursos humanos capaces de impulsar el desarrollo científico y tecnológico. Para lograrlo se generó un gran número de propuestas con diferentes enfoques teóricos y metodológicos. Desde entonces los modelos predominantes en la enseñanza de la ciencia fueron el aprendizaje por descubrimiento y el modelo constructivista⁵⁰.

El aprendizaje por descubrimiento se basa en la idea propuesta por autores como J. Dewey, J. Bruner, M. Wertheimer o J. Piaget, según la cual un sujeto es capaz de encontrar por sí mismo una regla o una estructura conceptual desconocida para él a partir de un conjunto de materiales suministrados desde el exterior. Por lo tanto, los métodos de enseñanza propuestos por este modelo buscan que los estudiantes produzcan su propio conocimiento en lugar de recibirlo ya elaborado. Y como consecuencia mejoren su capacidad para resolver problemas, investigar y razonar⁵¹.

Las décadas de los sesenta y setenta tuvieron como eje rector de las propuestas pedagógicas el modelo de aprendizaje por descubrimiento. Sin embargo, a partir de la década de los ochentas se presentó un cambio en el modelo de enseñanza de la ciencia, generado por la falta de resultados que respaldaran su eficacia. La teoría que desde entonces se ha mantenido para abordar el problema del aprendizaje se basa en los postulados del constructivismo⁵².

La postura constructivista abarca distintos campos del conocimiento, entre ellos el psicológico, epistemológico, educativo, social, etc., de forma que no existe una definición única que aplique para este concepto. Cruz menciona que esta postura se fundamenta en aportaciones de distintas corrientes psicológicas e instruccionales⁵³. Los principios fundamentales en los que se basa la actividad constructivista del alumno en la realización de los aprendizajes, según este autor, son: a) cuando el sujeto interactúa con el objeto de conocimiento (Piaget), b) cuando esto lo realiza en interacción con otros (L. Vygotsky) y c) cuando es significativo para el sujeto (D. Ausbel).

⁴⁹ Cuando algunos personajes como Charles Lyell, Thomas Huxley, Herbert Spencer, John Tyndall y otros científicos se manifestaron a favor de la enseñanza de la ciencia,

⁵⁰ Paz, V. (1999) *Tesis de maestría: Una evaluación de la enseñanza de la biología en la educación primaria*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. Págs. 7-12

⁵¹ Río-Sanches, J. (1991): *Aprendizaje de las matemáticas por descubrimiento. Estudio Comparado de dos metodologías*, Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 11-20 pp.

⁵² Alvarado, M. (2007) Concepciones de ciencia y la enseñanza de la ciencia, en *Ethos Educativo*, No.3 Mayo-Agosto, México, D.F, 23-45 pp.

⁵³ Cruz, M, *Op. cit., nota 7*

Mario Carretero define el constructivismo de la siguiente forma:

el constructivismo mantiene que el individuo - tanto en los aspectos cognitivos y sociales del comportamiento como en los afectivos- no es mero producto del ambiente ni un simple resultado de sus disposiciones internas, sino una construcción propia que se va produciendo día a día como resultado de la interacción entre estos dos factores. En consecuencia, según la posición constructivista, el constructivismo no es una copia de la realidad, sino una construcción del ser humano. ¿Con qué instrumentos realiza la persona dicha construcción? Fundamentalmente con los esquemas que ya posee, es decir con lo que ya construyó en su relación con el medio que lo rodea⁵⁴.

En la actualidad los enfoques predominantes del constructivismo son: la teoría de Ausubel, la cual estipula que el aprendizaje previo de los alumnos es un factor crucial para determinar que se aprende en una cierta situación. Y los postulados derivados de la obra de Vygotsky, quien escribió sobre las concepciones que tienen alumnos y maestros, y el hecho de que a pesar de utilizar palabras similares en la descripción de conceptos, la interpretación personal que hace cada uno de los conceptos es distinta. El trabajo de Vygotsky hace énfasis en que la enseñanza de la ciencia debe considerar las diferencias conceptuales entre alumnos y maestros, y debe proveer tiempo para la interacción estudiante-estudiante, de forma que los alumnos puedan desarrollar conceptos a partir de la interacción con sujetos que se encuentren en una situación similar⁵⁵.

Junto con el cambio a un modelo constructivista en la década de los ochenta, en los Estados Unidos, la enseñanza de la ciencia incorporó la dimensión del contexto social (enfoque CTS) y la definición de estándares académicos cuantificables. En 1989 la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (AAAS: *por sus siglas en inglés American Association for the Advancement of Science*), publicó el documento titulado Ciencia para Todos (*Science for All Americans*), en el que revisaba los estándares educativos que deben lograr los educadores en todos los estudiantes. De este documento posteriormente se generarían los *Benchmarks*, que puntualizaban los elementos que deben tener los educadores para llevar a cabo este proyecto. En 1996, la Academia Nacional de Ciencia (NAS: *por sus siglas en inglés National Academy of Science*) publicó *Standards*⁵⁶.

Hacia finales de la década de los setenta, la Didáctica de las Ciencias Naturales comenzó a consolidarse como un campo científico emergente. Actualmente esta área del

⁵⁴ Carretero, M. (1993): *El constructivismo en el aula*, Editorial Edelvives, Zaragoza, pp. 21.

⁵⁵ Paz, V, *Op. cit.*, nota 49

⁵⁶ Porlán, R. (1998) Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias, en *Enseñanza de las ciencias*, No. 16 (1), Pag. 175-185, Sevilla, España.

conocimiento se constituye como un cuerpo coherente de conocimientos que centra su investigación en la problemática relacionada con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, dado que los conocimientos científicos son específicos y por ello no se enseñan ni se aprenden como otros saberes. El campo disciplinario que aporta conocimientos para estructurar la práctica profesional de la Didáctica de las Ciencias Naturales, incluye un grupo heterogéneo de disciplinas, entre las que se encuentran los estudios vinculados con la tecnología educativa⁵⁷.

Uno de los retos más importantes para los modelos constructivistas y las áreas especializadas en la enseñanza de la ciencia es poder desplegar del modelo de transmisión-recepción, que logre una integración de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales en las propuestas de enseñanza destinadas al alumno, en coherencia con la evaluación de las mismas, y que sea acorde con los retos que implica la búsqueda de nuevas formas de interactuar con el conocimiento mediadas por las nuevas tecnologías.

D. Tapscott comenta que el uso de los medios digitales ha posibilitado que los docentes y los estudiantes pueden cambiar a un nuevo paradigma de aprendizaje. Actualmente se habla de aprendizaje para el ocio, del aprendizaje organizacional, del aprendizaje virtual o *e-learning*, como nuevas formas de aprender, de relacionarse con el conocimiento que están modificando la forma de concebir el aprendizaje y organizarlo socialmente⁵⁸.

Un aspecto importante a considerar es que las nuevas tecnologías (informáticas, audiovisuales, equipos de laboratorio, etc.) corresponden a una transformación acorde a la época actual, pero no aseguran la calidad educativa en el área de ciencias si no van mediadas por un docente capacitado para su uso, y una aproximación didáctica que soporte el uso de las mismas en la generación de aprendizajes.

El problema de la enseñanza de la ciencia se hace más complejo cuando se cuestiona la importancia que tiene en la formación de los alumnos todo lo relacionado a la comprensión de la naturaleza de la ciencia y al desarrollo de sus actitudes hacia el trabajo de los científicos. Con el objetivo de que se ajusten con más fidelidad a la verdadera actividad científica y no a una imagen socialmente distorsionada de la misma. Para complementar este punto en la próxima sección se analizan los componentes de algunas propuestas para la enseñanza de la biología basadas en el uso de las TIC.

⁵⁷ Liguori, L y Noste, M. (2005), *Didáctica de las Ciencias Naturales: Enseñar Ciencias Naturales*. Serie Didácticas. Horno Sapiens Ediciones. Rosario Santa Fe Argentina. Pág 5-7.

⁵⁸ Cruz, M, *Op. cit.*, nota 7

1.3.1 Usos de las TIC en las propuestas para la enseñanza de la biología

El reconocimiento del papel fundamental de la biología para el desarrollo científico y tecnológico a partir de la segunda mitad del siglo XX, condujo a la puesta en marcha de diferentes proyectos que tenían la finalidad de contribuir a mejorar la propuesta de enseñanza de esta ciencia, en los diferentes grados educativos.

Durante el periodo de 1967 a 1970, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura promovió la publicación de 32 artículos de la serie "*Nuevas tendencias en la enseñanza de la biología*". El objetivo de estas publicaciones era ayudar a investigadores y docentes a mantenerse actualizados con los cambios curriculares, metodológicos, y didácticos que ocurrían en la biología. Entre los recursos que se proveyeron, estaban las TIC que hicieron su aparición en la enseñanza de temas puntuales⁵⁹. El objetivo de esta sección es mostrar la forma como se están incorporando las nuevas tecnologías en la enseñanza de la biología, a partir del análisis de los componentes tecnológicos en tres propuestas que priorizan el uso de estas herramientas.

En 2005 fue lanzado en Inglaterra y Gales el "Curso de Biología Avanzada Salters-Nuffield" (SNAB, por sus siglas en inglés *Salters-Nuffield Advanced Biology*). Este curso, dirigido a alumnos de 16 a 19 años, fue desarrollado por la Universidad de York y el Programa Curricular de la Fundación Nuffield. Tiene como objetivo brindar una imagen de lo que la biología actual utiliza en la investigación, la industria y la vida cotidiana.

Para el desarrollo de la propuesta se eligieron temas de actualidad que representaran problemas que implicaran un proyecto de investigación a largo plazo por parte de la disciplina⁶⁰. El componente electrónico que se implementó para el curso incluye un CD-ROM y actividades complementarias en un sitio web. También se incluyen guías sobre el uso de las TIC. El CD-ROM y el sitio web tienen un entorno de aprendizaje opcional «a la medida». Los profesores y profesoras pueden subir mensajes a una «cartelera» para comunicarse con sus clases y pueden ponerles tareas a los estudiantes, con consignas y fechas de entrega. Las calificaciones de las pruebas electrónicas al final de cada tema se almacenan automáticamente en el libro de calificaciones del sistema, que también puede recibir calificaciones ingresadas manualmente u otros datos. Hay también un grupo de discusión del profesorado vía web y otros dos grupos para estudiantes y técnicos. La intención es que el

⁵⁹ UNESCO, (1971). *New trends in biology teaching, Vol. III*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura

⁶⁰ Reiss, M. (2006) Desarrollo de un curso de biología contextualizado en el bachillerato: el caso del proyecto *Salters-Nuffield Advanced Biology*. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 24(3), Universidad de Londres, Reino Unido. Pag 429-438. Para mayor información consultar: <http://www.nuffieldfoundation.org/salters-nuffield-advanced-biology>

componente electrónico del curso permita a los estudiantes trabajar más autónomamente de lo que es usual en los cursos de biología de *advanced level*. El curso debería también ayudar al profesorado a hacer frente a una gran diversidad de capacidades en los estudiantes y a organizar el trabajo con aquellos estudiantes que se pierden partes del curso por enfermedad o por otras causas.

En 2007 M. Fernández presentó los resultados de un proyecto de investigación, en el que se evaluó el diseño de una propuesta basada en el uso de las TIC para la enseñanza de la biología y la geología en un grupo de secundaria en España. Los elementos en los que se centró la propuesta consistían en: la elaboración de un libro electrónico (CD) en formato de páginas web, presentaciones PowerPoint de cada unidad como material didáctico de la asignatura de Biología y Geología, enlaces web, correo electrónico (como medio de comunicación entre el profesorado y el alumnado), hojas de cálculo (Excel), y otros recursos informáticos (animaciones, actividades interactivas, glosarios en formato electrónico y DVDs). Los resultados de la evaluación de su propuesta muestran una impresión positiva en cuanto al uso de las TIC, aunque no se relacionan con una mejora en el proceso enseñanza-aprendizaje⁶¹.

En 2005 Fuentes presentó el desarrollo del software educativo Bio Tutor 2000, para la enseñanza de la biología en secundaria, en Venezuela. La propuesta consta de una plataforma (Authorware Attain 5.0), que permitió integrar diferentes elementos multimedia como: sonidos, imágenes y videos. En el análisis que presenta menciona que el desarrollo de un software educativo contribuye a elevar la calidad de la enseñanza, pues se proporciona una herramienta de aprendizaje que puede ser aplicada por el docente en el marco de las teorías conductista, cognitivista y constructivista⁶².

En el artículo *las TIC en la enseñanza de la Biología en la educación secundaria*, López menciona las dificultades del uso de las TIC para la enseñanza de la biología y expone las posibilidades de los laboratorios virtuales, los cuales pueden no sólo aportar nuevos enfoques para trabajar contenidos biológicos, sino que vienen a solventar algunos de los problemas que presenta el trabajo en el laboratorio tradicional (limitaciones de tiempo, peligrosidad, disponibilidad de material). En su artículo se incluye un listado de laboratorios virtuales en diferentes universidades y se menciona que la escasez de recursos disponibles

⁶¹ Fernández, M. *et al.* (2007) Experiencia en el uso de las TIC en el aula en biología y geología de 3ºESO. Congreso Internacional Escuela y TIC. Facultad de Educación, Universidad Alicante, España.

⁶² Fuentes, L. (2005) Software educativo para la enseñanza de la Biología. Revista de Ciencias Humanas y Sociales v.21 n.47 Maracaibo ago. 2005

en español debería suponer una llamada de atención acerca del largo camino que nos queda por recorrer⁶³.

En este inciso se examinaron brevemente los modelos para la enseñanza de la ciencia y el uso de las TIC en distintas propuestas para la enseñanza de la biología. El análisis que se presentó permitió identificar a la Didáctica de las Ciencias Naturales como un eje fundamental para articular distintos problemas relacionados con el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencia. Entre los principales ejes de la Didáctica de las Ciencias Naturales se incluyen: a) Las TIC en la educación, b) Ideas previas, c) concepción docente de la ciencia, d) las relaciones CTS, e) la educación ambiental, f) la evaluación en ciencias, g) la resolución de problemas, h) diseño curricular, i) los modelos didácticos, j) los metaconceptos o conceptos estructurantes, k) la formación y capacitación docente en ciencias.

El análisis de las propuestas didácticas para la enseñanza de la biología que incorporan el componente tecnológico, mostró que existe una cantidad de bibliografía limitada sobre el uso de las TIC en la enseñanza de la biología. La mayor parte de las propuestas que se encuentran en la literatura, exponen casos de innovaciones que se centran en el uso Internet (a través de distintos elementos multimedia), ó el desarrollo de software educativo. Sin embargo también se enfatizan las dificultades de evaluar de forma efectiva el uso de las propuestas, el sesgo que propicia el hecho de que la mayoría de los materiales estén disponibles en inglés, y las dificultades de los docentes para asimilar el proceso de integración.

Aunque hay dificultad en que los docentes adopten un proyecto tecnológico, en los últimos años, cada vez más docentes familiarizados con el uso de las TIC utilizan los entornos digitales para sus actividades de enseñanza. Con base en distintos estudios, A. Gewerc propuso una categorización de los recursos que se utilizan frecuentemente en las actividades de enseñanza⁶⁴. Esta clasificación fue definida en función de la utilización más o menos intensiva de Internet, se compone de 6 niveles, que se muestran en el cuadro 1.

⁶³ López, M. (2007) Las TIC en la enseñanza de la Biología en educación secundaria: los laboratorios virtuales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 6, Nº3, 562-576, Facultad Computense. Madrid, España.*

⁶⁴ Ante la pregunta, ¿qué propuestas didácticas diseñan los docentes en relación con Internet?, en un artículo publicado en *QuadernsDigitals (www.quadernsdigitals.net)*, Adriana Gewerc propuso una clasificación del uso de internet en instituciones educativas formulada por Lowther para el caso norteamericano. Palamidessi, M. (comp), 2006. *La escuela de la sociedad de redes. Una introducción a las tecnologías de la informática y la comunicación en la educación* – 1ª ed.- Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 104 pp.

Cuadro 1. Clasificación del uso de la web

Nivel 0: Sin uso de la web Implica no usar la web en ningún caso
Nivel 1: Información La web provee información relativamente estable a los estudiantes. El profesor introduce ítems como un glosario, la agenda del curso o información de contacto. Este tipo de información es fácilmente creada por el profesor, requiere muy poco mantenimiento y toma un mínimo de tiempo.
Nivel 2: La web provee información sobre los contenidos del curso a los estudiantes. Puede consistir en que el profesor coloque materiales del curso u otros apoyos. El típico ejemplo puede ser una presentación de PowerPoint guardada como documento HTML y colocada en la web para que los estudiantes la revisen más tarde.
Nivel 3: Esencial El estudiante no puede ser un miembro productivo de su clase sin un regular accesos a la web del curso. En este nivel el estudiante obtiene la mayoría de los contenidos de la web.
Nivel 4. Comunal Las clases se desarrollan tanto en un ambiente de aprendizaje cara a cara como en línea. Los contenidos del curso están disponibles en línea o en la clase tradicional. Idealmente, los estudiantes generan ellos mismos la mayor parte de los contenidos.
Nivel 5: Inmersión Todos los contenidos del curso y las interacciones ocurren en línea. Esto no difiere de la tradicional idea de educación a distancia. Pero, en este nivel podemos encontrarnos con sofisticados ambientes de aprendizaje diseñados desde una perspectiva constructivista.

Fuente. Adriana Gewerc (2003), Internet y las situaciones de enseñanza y aprendizaje⁶⁵.

A lo largo del capítulo se revisaron algunos de los momentos más representativos en el desarrollo histórico de la biología a lo largo del siglo XX. A partir de dicha revisión es posible inferir que la confirmación de la evolución como el principio unificador más importante para la biología fue probablemente el evento de mayor relevancia para esta disciplina en la primera mitad del siglo. También se mencionó la importancia del desarrollo en el área de la genética, que permitió afianzar programas de investigación y facilitar el establecimiento de la biología molecular.

El análisis sobre la influencia de la Segunda Guerra Mundial en el desarrollo de la biología. Mostró que el fomento a las ciencias físicas que predominó en las universidades fue fundamental en el impulso para el desarrollo de la biología molecular y el surgimiento del enfoque CTS en la ciencia. Al analizar el vínculo entre la tercera revolución industrial y la

⁶⁵ Palamidessi, M. *Op. cit.*, nota 50, p. 78

biología, en el capítulo se expuso el surgimiento de nuevas áreas de investigación, servicios y la definición de los nuevos problemas a los que se enfrentará la biología en los próximos años.

El análisis de dos las dos propuestas actuales para la enseñanza de la biología, permitió identificar la importancia de abordar la enseñanza de contenidos biológicos a partir de los principios unificadores de la biología.

Al analizar diferentes aspectos pedagógicos, importantes para el desarrollo de recursos para la enseñanza de esta ciencia, se abordó la importancia de conocer la forma como se utilizan los recursos digitales para la enseñanza de la biología, para retomar los aspectos más importantes e integrarlos en un esquema que parta de los principios unificadores y ampliar de esta manera los conocimientos fundamentales.

CAPITULO II. CONTEXTO

El objetivo de este capítulo es analizar algunos aspectos relacionados con el contexto actual de la enseñanza de la biología en educación secundaria en México. Para delimitar el contexto en el que se circunscribe el análisis, como punto de partida se exponen las características principales de la Sociedad de la Información. En el siguiente inciso se describe brevemente la situación actual del desarrollo científico y tecnológico en México a través una serie de indicadores definidos por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico en 2006, y se presenta una reseña sobre la enseñanza de la biología en educación secundaria en México durante la segunda mitad del siglo XX. En el último inciso se aborda el contexto de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la educación y se examinan los esfuerzos más representativos para incorporar las TIC en las aulas mexicanas.

2.1 La enseñanza de la biología en educación secundaria en México

En el capítulo anterior se expuso la forma como el avance de las ciencias biológicas y las tecnologías que se generaron durante la segunda mitad del siglo XX permitieron que la biología alcanzara una nueva etapa de desarrollo. Al preguntarse hacia dónde se dirigirá el conocimiento biológico en las próximas décadas han comenzado a esbozarse diferentes respuestas, muchas de las cuales inciden directamente en los problemas sociales. Un aspecto importante en la generación de las respuestas, y que va implícito en la pregunta, es cómo se va a lograr.

La enseñanza de la biología no es un problema aislado de la situación científica y tecnológica del país. Por esa razón el punto de partida para conocer qué pasa con la enseñanza de la biología en la secundaria es la pregunta de qué ocurre con la ciencia y la tecnología en México.

A partir de la década de los setenta la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) comenzó a elaborar una serie de informes para promover una política científica eficaz de impulso a la ciencia básica. Desde entonces la OCDE ha tenido la función de implementar programas para el fomento de la ciencia y generar indicadores que permitan contar con una visión general del desarrollo científico y tecnológico en países que forman parte de dicha organización, entre ellos México. Los indicadores que se incluyen en el informe *Regions at a glance* representan el punto de partida para entender qué ocurre con la ciencia en nuestro país.

De forma complementaria, para evaluar la eficacia de los sistemas educativos en los países miembros de la OCDE, en el año 2000 esta organización comenzó a implementar el Programa Internacional para la Evaluación de los Estudiantes (PISA, por sus siglas en inglés: *Programme for International Student Assessment*). El objetivo de este programa es

conocer las competencias de los estudiantes de tercero de secundaria en las áreas de lectura, matemáticas y ciencias. Además de la prueba PISA existen otras evaluaciones que permiten darse una idea del estado actual de la enseñanza de la ciencia.

Para contextualizar la situación del desarrollo científico y tecnológico en nuestro país, y posteriormente el caso concreto de la enseñanza de la biología. Es pertinente retomar la discusión sobre la influencia de la tercera revolución industrial en la biología y de forma análoga plantear las características de la Sociedad de la Información, como el nuevo entramado social en el que la biología se está desarrollando.

En la actualidad no existe una definición única para el concepto de la Sociedad de la Información. Si bien este concepto se volvió cada vez más recurrente a partir de la década de los setenta para destacar el papel de la información en los procesos culturales y económicos, que definen las características de las sociedades. Su significado varía dependiendo del autor al que se recurra.

M. Cruz menciona que las sociedades que son consideradas como producto de la tercera revolución industrial, han sido expuestas con diferentes nombres y matices a partir de una gran cantidad de autores, entre ellos: D. Bell, A. Toffler, A. Touraine, M. McLuhan, A. Nora y A. Minc. Frente a la gran cantidad de términos para nombrar a la Sociedad de la Información, este autor identifica dos factores comunes a las definiciones que se han dado desde los diferentes enfoques en lo que se ha abordado, estos son la *información* y la *innovación tecnológica*⁶⁶.

Dada la finalidad de esta investigación, es razonable proponer un concepto a partir de la definición misma de sociedad. La Real Academia de la Lengua Española define la sociedad como:

...una agrupación natural o pactada de personas, que constituyen unidad distinta de cada uno de sus individuos, con el fin de cumplir, mediante la mutua cooperación, todos o alguno de los fines de la vida⁶⁷.

⁶⁶ Se les denominará post-industriales si se pretende señalar la distancia que las separa de las sociedades de industrialización que les ha precedido, con independencia de la forma capitalista o socialista del proceso. Se les llamará tecnocráticas si nos fijamos en el tipo de poder que las domina. Se les denominará programadas si se intenta definir las ante todo por su modo de producción y organización económica. Corporativistas, si hacemos referencia a la hegemonía que en su seno tiene la gran corporación como forma de organización productiva. Activas, para indicar que no son dueñas de sí mismas, en continua dialéctica con sus resultados. Tecnotrónicas, por ser unas sociedades conformadas cultural, psicológica, social y económicamente por el impacto de la tecnología y la electrónica, en especial en el área de las computadoras y las comunicaciones. Tecnológicas, por ser su característica fundamental la automatización progresiva del aparato material e intelectual que regula la producción, la distribución y el consumo. Técnico-científicas, por ser la ciencia un factor decisivo en el crecimiento de las fuerzas productivas de la sociedad. Post-económicas, porque cada vez más los costes directos carecerán de importancia en las decisiones de producción, llegando a una cierta desmaterialización de los activos. También cabría otros epítetos como post- capitalistas, post-burguesas, post-bienestar y post-ideológica. . Cruz, M. *Op. cit*, nota 7, Págs. 89-94

⁶⁷ Real Academia de la Lengua Española, (2012)

En esta investigación, la sociedad de la información se entiende como la agrupación pactada de personas que en un mismo contexto utiliza los procesos de la información para fomentar, a través de la innovación tecnológica, un esquema de mejora continua de los sistemas de procesamiento informativo que repercuten en la actividad política, económica y cultural.

En el capítulo anterior se mencionó la importancia de las tecnologías de la información y la comunicación, como los pilares que permitieron el establecimiento de la tercera revolución industrial. En la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información, en Ginebra (2003) y Túnez (2005), se planteó el papel crucial de las TIC en la escuela y se hizo énfasis en su papel como herramientas para combatir la pobreza y permitir a los distintos gobiernos del mundo alcanzar niveles más elevados de desarrollo. Para medir el grado de avance de los sistemas educativos en la sociedad de la información se definieron una serie de indicadores.

El objetivo de los incisos que se presentan a continuación es analizar el contexto de la enseñanza de la ciencia, y de la biología en particular, desde las perspectivas mencionadas anteriormente, para esto a continuación se exponen los principales indicadores que se incluyen en el informe *Regions at a glance 2005*. También se busca identificar los cambios en la enseñanza de la biología en la secundaria durante la segunda mitad del siglo XX y los procesos de cambio que han impulsado la incorporación de las TIC en la educación, para complementar el contexto de la propuesta didáctica.

2.1.1 La Ciencia y Tecnología en México a través de la OCDE: una aproximación

El informe *Regions at a glance* es la tercera de una serie de publicaciones que iniciaron en 2005, enfocada a proporcionar a funcionarios públicos, investigadores y la ciudadanía, las diferencias más representativas entre las regiones que forman parte de la OCDE. Las categorías de análisis incluyen aspectos demográficos, económicos, en materia de empleo, educación, salud y preservación del ambiente. El informe que se presentó en 2009 está dividido en cinco partes: a) énfasis en la innovación regional, b) las regiones como actores del crecimiento nacional, c) perspectivas de los logros regionales, d) aspectos claves del crecimiento económico, y e) la competencia con base en el bienestar regional. En la primera parte se plantean siete ejes de análisis para abordar los indicadores del desarrollo científico y

tecnológico, estos son: 1) gasto en investigación y desarrollo experimental, 2) personas involucradas en actividades de investigación y desarrollo, 3) concentración regional de patentes, 4) cooperación regional de patentes, 5) matrícula estudiantil en educación terciaria, 6) calificaciones en educación avanzada y 7) tasa de empleo en sectores orientados en el conocimiento⁶⁸.

El primer indicador que se presenta, el Gasto en Investigación y Desarrollo Experimental (GIDE), contempla el porcentaje representativo del producto interno bruto (PIB) destinado a la investigación básica, aplicada y desarrollo experimental⁶⁹. Este indicador muestra que el promedio de inversión de los países miembros de la OCDE se ubicaba en 2.3% de su PIB. En 2005, la inversión que realizó México fue de 0.4%. Este indicador ubica a México en el último lugar entre los países miembros de la OCDE en la inversión que destina a la investigación y desarrollo. El segundo indicador que se analiza muestra, dentro de la población económicamente activa, el porcentaje de la fuerza laboral que se dedica a actividades relacionadas con la ciencia y tecnología, en este indicador México ocupa el último sitio ya que únicamente 2 de cada 1000 empleados (económicamente activos), se dedican a actividades relacionadas con la ciencia y la tecnología. Mientras que el promedio de los países miembros de la OCDE, en 2005, se ubicó en 14 de cada 1000 empleados. El tercer indicador que se incluye en el informe aborda el número de patentes que se registran anualmente. En este rubro, México ocupa el último sitio con 2 patentes por cada millón de habitantes. El promedio de los países miembros de la OCDE es de 108 patentes por cada millón de habitantes. El cuarto indicador representa el porcentaje de patentes que son generadas en colaboración con investigadores en otras regiones fuera de un país. En México alrededor del 30% de los documentos de patentes se realizan dentro de las fronteras del país, y aproximadamente 70% en colaboración con investigadores extranjeros. A diferencia de Corea, Japón, Estados Unidos, u Holanda, donde más del 70% de los documentos de patentes se elaboran dentro de esos países. El quinto indicador se refiere al total de estudiantes que cursan grados de educación terciaria. El promedio en países miembros de la OCDE muestra que 4% de la población cursa algún nivel de educación terciaria. En México el indicador se ubica cerca del 2%. El sexto indicador se refiere al porcentaje del total de la

⁶⁸ Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, (2009), *Regions at a Glance*. Revisar la siguiente dirección: http://www.oecd.org/document/42/0,3746,en_2649_37429_48338666_1_1_1_37429,00.html

⁶⁹ En esta investigación, con ciencia básica nos referimos al trabajo creativo o teórico realizado principalmente con el objeto de generar nuevos conocimientos sobre los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin prever ninguna aplicación específica inmediata. A diferencia de la ciencia aplicada, que se refiere a la investigación original realizada para la adquisición de nuevos conocimientos, dirigida principalmente hacia un fin u objetivo práctico, determinado y específico.

fuerza laboral que cuenta con educación terciaria. En México aproximadamente 45% de la fuerza labora cuenta con ese grado de escolaridad. El séptimo indicador se refiere a la tasa de empleo en actividades relacionadas con la *high technology* y servicios de conocimiento intensivo. México no figura en la lista de países con índices representativos.

Los indicadores presentados ubican a México en los niveles más bajos con respecto al resto de los países miembros de la OCDE. Esta situación expone la falta de impulso que se ha dado al desarrollo científico y tecnológico. Es posible inferir que si el gasto invertido y, en consecuencia la situación del desarrollo científico y tecnológico del país es pobre, el proyecto educativo en ciencia y tecnología también lo es. A continuación, se sintetizan las características del modelo mexicano de enseñanza de la biología en educación secundaria en la actualidad.

2.1.2 Reseña sobre la enseñanza de la biología en educación secundaria en México

Como punto de partida para abordar el contexto actual de la enseñanza de la biología en secundaria, es importante mencionar algunos aspectos que han sido determinantes en el desarrollo de las propuestas para la enseñanza de esta ciencia en nuestro país. Desde el surgimiento de la Secretaría de Educación Pública (SEP) en 1921, es posible distinguir al menos cinco tendencias distintas en políticas educativas⁷⁰.

Es posible afirmar que los cambios al sistema educativo mexicano han influido constantemente en la definición de los objetivos para la enseñanza de la ciencia en educación básica. Segundo, como señala Ledesma-Mateos, los paradigmas biológicos en México no se crearon, sino que fueron introducidos. Esto influiría profundamente en el proceso de profesionalización e institucionalización de la biología México y de su enseñanza, generando episodios en los que, debido a la lucha ideológica entre la comunidad científica mexicana, se censuró la impartición de ciertos contenidos biológicos.

⁷⁰ La primera tendencia fue impulsada por la Secretaría de Educación Pública, organismo que se fundó en 1921 durante el mandato del presidente Álvaro Obregón, influida por el pensamiento del entonces rector de la universidad, José Vasconcelos, se caracterizó por mantener una postura crítica frente al positivismo, así como un rechazo al determinismo biológico. La propuesta de Vasconcelos se distinguió por intentar reafirmar los valores culturales del pueblo mexicano y logró establecer lo que sería conocido como la época de oro de la escuela rural mexicana; hacia finales de los años 20, se desarrolló un proyecto de educación tecnológica cuyo objetivo era contribuir al proceso de industrialización del país, esta etapa es considerada una segunda tendencia en política educativa y fue impulsada durante el gobierno de Plutarco Elias Calles por el educador y político Moisés Sáenz; la tercera tendencia se conoce con el nombre de "educación socialista", impulsada durante el mandato del Gral. Lázaro Cárdenas, esta etapa se caracterizó por promover una educación basada en los logros de la revolución socialista; en la década de los cuarentas se consolidaría la denominada "escuela de la unidad nacional", que promovió Jaime Torres Bodet, dando un nuevo impulso a la labor alfabetizadora y construyendo diferentes escuelas, entre ellas la Normal par Maestros, Normal Superior, el Conservatorio Nacional y otras. Finalmente, en la segunda mitad del siglo XX, se establecería la política de modernización educativa, que se ha mantenido hasta estos días. Martínez Rizo, F. (2001) Las políticas educativas mexicanas antes y después de 2001. En *Revista iberoamericana de Educación*, OEI, No. 27, pp. 3-7)

En el capítulo anterior se mencionó la importancia del movimiento de reforma a la educación científica y tecnológica, que comenzó a finales de la década de 1950 en diferentes países. Dentro de las diferentes propuestas teóricas y didácticas, las dos corrientes principales que se promovieron fueron: el aprendizaje por descubrimiento y la teoría constructivista. A continuación se abordará de forma general los cambios que se han planteado en la enseñanza de la biología en México en la educación secundaria para delimitar el contexto y la pertinencia de la propuesta que se presenta.

En México, la historia de la enseñanza de la biología en secundaria, en la segunda mitad del siglo XX, muestra la importancia que cobraron, en diferentes momentos, los dos enfoques anteriores. Con la reforma de los años sesentas, impulsada por el entonces secretario de educación Jaime Torres Bodet. Se generaron propuestas derivadas del constructivismo psicológico, a través de este enfoque se pretendía desarrollar en los alumnos capacidades de análisis, pensamiento crítico, inferencia lógica y deducción⁷¹. Durante esta etapa, la enseñanza de la biología en secundaria se impartió en un currículo por asignaturas en el que los contenidos biológicos se abordaban durante los dos primeros años de la instrucción secundaria, mientras que en el tercer año se impartían las materias de física y química⁷².

Durante el mandato del presidente Luis Echeverría (1970-76), se reformaron planes y programas de estudio en educación básica. Paz menciona que el grupo encargado de hacer la revisión, fue un equipo multidisciplinario que congregó a físicos, químicos, biólogos, antropólogos, sociólogos, psicólogos y maestros en servicio. A partir de entonces se recurrió al aprendizaje por descubrimiento como fundamento teórico⁷³. En este periodo hubo un cambio en el plan curricular, y los contenidos biológicos se desarrollaron dentro de un currículo integrado, el de Ciencias Naturales. El nuevo programa incluía la enseñanza de biología, física y química, durante los tres años de la educación secundaria, siguiendo un esquema teórico-práctico⁷⁴.

Probablemente la reforma más significativa por las modificaciones al artículo tercero constitucional y la definición de la obligatoriedad de la educación secundaria dentro de la educación básica, se presentó en 1993, cuando a través del Acuerdo Nacional para la Modernización de la Educación Básica (ANMEB), se reestructuró el sistema de educación

⁷¹ Díaz Gutiérrez, M. A. *et al.* (2007) Pisa 2006 en México, INEE, 46 pp.

⁷² Secretaría de Educación Pública, (1993) Planes y programas de estudio

⁷³ Paz, V. (1999) Tesis de maestría: Una evaluación de la enseñanza de la biología en la educación primaria. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. Pag 7-12.

⁷⁴ Talanquer, V. (1990) ¿Qué pasa con la educación? *Educación Química Vol. 2*, Facultad de Química, UNAM, México, D.F., pag 92-95

básica. Los cambios que se hicieron para orientar el proceso de modernización educativa, incluyeron, en lo que respecta a la enseñanza de la ciencia, el abandono del modelo educativo utilizado desde los setentas. Uno de los aspectos más relevantes para la enseñanza de la biología, con la reforma educativa de 1993, fue el cambio de un currículo integral a otro por asignaturas. Para ello, se establecieron dos cursos para el estudio de cada una de las disciplinas fundamentales de las Ciencias Naturales; la física, química y biología. Y se retomaron los postulados constructivistas.

La última de las reestructuras al sistema de educación secundaria fue la Reforma de la Educación Secundaria (RES), que comenzó a implementarse en algunos planteles educativos en el año 2005 y culminó su integración en los dos ciclos posteriores. El propósito fundamental del estudio de la ciencia y la tecnología en la educación secundaria, que se menciona en la actualidad, es:

Proporcionar una formación científica y tecnológica básica que permita a los alumnos aproximarse a la comprensión de los fenómenos y procesos e la naturaleza y de la tecnología, valorar críticamente el impacto social de la ciencia y la tecnología y participar en el mejoramiento de la calidad de vida con base en la toma informada de decisiones, especialmente en el campo del cuidado de la salud, la conservación ambiental y el reconocimiento de otras formas de construir el conocimiento acerca de la naturaleza.⁷⁵

Una de las principales novedades que presentó la reforma, era la incorporación de la tecnología como un tema central, denominado “Programa de ciencia y tecnología”.

La Reforma de la Educación Secundaria fue controversial desde sus inicios. Cuando en 2004 se entregó el primer avance de la reforma, diferentes actores e instituciones, como la Academia Mexicana de Ciencias, especialistas en educación y docentes, hicieron una serie de cuestionamientos críticos y recomendaciones sobre las características de la reforma y los métodos que planteaba para la enseñanza de la ciencia. Desde entonces las críticas y los comentarios abarcan una amplia gama de consideraciones.

A continuación se incluye una categorización de las principales críticas que hizo A. Candela con respecto a la implementación de la reforma. Esta autora mencionó la falta de coherencia entre las orientaciones generales y las características concretas de los programas de las asignaturas. La finalidad de esta sección es remarcar aquellas críticas que son relevantes para el planteamiento de esta propuesta didáctica.

⁷⁵ Secretaría de Educación Pública, (2006) Planes y programas de estudio (2006)

Falta de homogeneidad: la homogeneidad de los planteamientos generales se pierde en los programas de cada asignatura. Esta situación muestra en palabras de esta autora una falta de coordinación entre los equipos que realizaron los programas de Ciencias I, II y III.

No surge de la evaluación de los programas y las prácticas vigentes: se menciona que los programas que se desarrollaron no retomaron las experiencias de aprendizaje exitosas en cuanto a materias, contenidos y enfoques. También se omitieron los resultados de las evaluaciones en materias que mostraban un alto índice de reprobación, reduciendo el enfoque desarrollado en la propuesta de 1993. Tampoco se tomó en cuenta la formación de maestros ni las prácticas de enseñanza arraigadas en la práctica cotidiana.

Contradicción de los planteamientos generales: a) **disminución de los contenidos.** En comparación con los programas para los diferentes grados de secundaria del *Plan de 1993*, donde los cursos desarrollaban 11 asignaturas en primero y tercero, y 12 en segundo. El programa de Biología al compactarse en Ciencias I, disminuyó algunos contenidos en relación con el de 1993 y eliminó los que tienen mayor complejidad para los alumnos de esta edad. Sin embargo, esta disminución no es suficiente para permitir, al menos en principio, que puedan comprender y profundizar en los contenidos propuestos y desarrollar las competencia planteadas como pensamiento crítico, razonamiento lógico y resolución creativa de problemas. También se eliminó la materia de Educación Ambiental, pese a que la educación para la sostenibilidad se convirtió en un contenido transversal en la educación. En la actualidad el desarrollo de principios, valores y competencias relacionadas con este tema no es primordial. b) **Orientación didáctica y enfoque de las asignaturas de ciencias.** La estructura y orientación de los contenidos científicos es contraria a las necesidades de los jóvenes en edad de cursar educación secundaria.

Carencia de vínculo con el currículo de la primaria: en las Jornadas Didácticas de Biología Evolutiva realizadas en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en noviembre de 2009, se expusieron algunos de los errores y omisiones conceptuales, la carencia de transposición didáctica, y otras inconsistencias encontradas después del análisis de los libros de texto de Ciencias Naturales para quinto y sexto de primaria, introducidos con la RIEB⁷⁶ Los errores en los libros de texto, suscitaron un amplio debate entre la comunidad científica del país. De forma que pese a buscar consolidar

⁷⁶ Garza L. y Morales, M. (2009): La educación básica en México en el 2009, año de la evolución. en *Jornadas Didácticas de Biología Evolutiva*, Facultad de Ciencias UNAM.

un vínculo entre la primaria y secundaria, aún continua siendo un reto consolidar los contenidos en el nivel previo.

Desigual desarrollo de la orientación intercultural: Aunque existe un mayor énfasis en valorar a través de la ciencia la cosmovisión y los conocimientos culturales de los grupos indígenas. El desarrollo de este aspectos es desigual en las diferentes materias.

Carácter unilateral de la reforma: el Sindicato Nacional de Trabajadores de la educación (SNTE), remarcó en varias ocasiones el carácter unilateral de la reforma. Los miembros del sindicato argumentaron que no se consultó al grueso de maestros y con ello se limitó la continuidad de la propuesta.

Enfoque CTS y uso de las TIC: pese a que la reforma se encuentra estructurada entrono al enfoque CTS, la relación entre la ciencia tecnología y sociedad es limitada. Prueba de ello son la falta de elementos históricos en el contexto de nuestro país que vinculen el desarrollo histórico de la biología con la práctica actual. Por otra parte el papel que han adquirido las tic se ha basado principalmente en su uso como acervo de información, más que herramientas para promover el desarrollo de competencias por parte de los alumnos. Y la generación de recursos didácticos que faciliten a los docentes su tarea y brinden una aproximación actualizada de la biología

Evaluación de la efectividad de la reforma: La evaluación de la efectividad de la enseñanza de la ciencia en el contexto de la reforma es el punto más importante para considerarse en el presente trabajo, en torno a ello existen una serie de interrogantes que hacen prioritario el análisis de las pruebas y las características del esquema evaluatorio para proponer soluciones a corto y mediano plazo.

Los cambios constantes en la estructura de la educación secundaria han tenido importantes repercusiones en los resultados sobre la eficiencia del proyecto de enseñanza en ciencia y tecnología. Para conocer la situación de la enseñanza de la ciencia y tecnología en la actualidad, a continuación se revisan los indicadores de tres pruebas para evaluar el aprovechamiento en ciencias, en la última se hace énfasis en el caso de la enseñanza de la biología.

2.1.3 Indicadores del aprovechamiento de las Ciencias en educación básica: énfasis en biología

En el caso del aprovechamiento en ciencias para alumnos que cursan educación básica se han instrumentado diferentes pruebas cuyo objetivos y criterios de evaluación varían. Dentro de estos estudios, a continuación se presentan los resultados más representativos de la pruebas PISA (2006), ENLACE (2009) y EXCALE (2008) . El objetivo de esta sección es identificar los diferentes aspectos que se evalúan, para establecer referentes para el diseño de la propuesta didáctica generada en esta investigación.

Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (PISA)

El Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (*Pisa: por sus siglas en inglés: Programme for International Student Assessment*). Es un estudio que promueve la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). En México, el responsable de su aplicación es el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE). El estudio se realiza cada tres años enfatizando en cada ciclo un área o dominio diferente. Así en el año 2000, fecha en que se realizó por primera vez nuestro país, el énfasis fue lectura, en 2003 matemáticas, en 2006 ciencias y en 2009 nuevamente lectura. El objetivo de esta prueba es proporcionar información sobre los sistemas educativos que son evaluados. Se determina en que medida, los estudiantes de 15 años que se encuentran por concluir o han concluido la educación secundaria, han adquirido los conocimientos y habilidades relevantes para participar activa y plenamente en la sociedad del conocimiento. Este estudio evalúa las competencias (*literacy*), científica, lectora y matemática, en una escala de seis niveles (1-6). Sin apearse al curriculum del grado de escolaridad correspondiente.⁷⁷

En la versión aplicada en 2006 cuyo énfasis fue en el área de ciencias. México participó junto con 57 países en el estudio. En esa versión Finlandia obtuvo la media de desempeño más alta ubicándose en el nivel 4. En el extremo opuesto se encuentra Kyrgyztán, cuya media de desempeño se encuentra en el nivel 0, por debajo de los rangos planteados. La media de la mayor parte de los países de la OCDE (33) se encuentra en el

⁷⁷ OCDE, (2006) Resultados Pisa en México. <http://www.inee.edu.mx/index.php/proyectos-y-servicios/pisa>
<http://www.inee.edu.mx/BuscadorDocs/detallePub.action;jsessionid=BBBA9657E557AE90B4FA7047E44B0CDE?clave=INEE-200905288>

nivel 3. México se encuentra en el grupo de países cuyas medias se ubican en el nivel 2, por debajo de países como Chile y Uruguay. En México, la muestra fue de 8,467 alumnos. La media nacional fue de 410 puntos. De estos el 18% de los estudiantes se ubica en el Nivel 0. 33% en el Nivel 1; 31% en el nivel 2; 15% en el nivel 3 y 3% en el Nivel 4.

En la versión de 2009 participaron 65 países, México subió seis puntos en comparación con 2006 obteniendo un puntaje de 416. En total la media de México se ubicó por encima de 14 países, entre ellos Brasil, Colombia, Argentina y Perú. Siendo superado por Chile y Uruguay. La distribución de México se encuentra muy alejada de la que presenta el promedio OCDE. En México 3% de los estudiantes está en los niveles altos, en tanto en el promedio OCDE 29% de los estudiantes se ubica en el mismo nivel. En los niveles intermedios (niveles 2 y 3), México presenta 50% de los estudiantes frente a 53% del promedio OCDE; y en los niveles inferiores (nivel 1 y Debajo del nivel 1), el promedio OCDE concentra a 18% de los alumnos contra 48% de México.

Evaluación Nacional de Logro Académico en Centros Escolares (ENLACE)

La Evaluación Nacional de Logro Académico en Centros Escolares (ENLACE) es una prueba del Sistema Educativo Nacional que se aplica a planteles públicos y privados del país desde 2006. Su objetivo es retroalimentar a docentes, padres de familia y alumnos sobre la calidad de la educación. La prueba ENLACE proporciona un diagnóstico de la asimilación de contenidos de las asignaturas de español, matemáticas y ciencias, conforme a los planes y programas de estudio oficiales.

Desde su primer año de aplicación en 2006, ENLACE evalúa dos asignaturas instrumentales básicas que la mayoría de los países y especialistas coincide que son fundamentales para la formación académica de los alumnos, estas son Español y Matemáticas. Junto con estas asignaturas cada año se incorpora una tercera asignatura para su evaluación, de forma que en 2008 correspondió a Ciencias Naturales, 2009 a Formación Cívica y Ética, 2010 a Historia, 2011 Geografía, y 2012 corresponderá a Ciencias. El examen esta integrado por 50 reactivos como mínimo y 70 como máximo para cada asignatura-grado y se aplica durante dos días. La prueba mide cuatro niveles de logro: insuficiente, elemental, bueno y excelente.

Para evaluar el área de ciencias naturales en 2008 se utilizaron 59 reactivos, 20 de física, 19 de química y 20 de biología. Los resultados en el área de ciencias ubicaron al 20.2

% del alumnado en un rango de insuficiente, 60.7% en elemental, 18.7 en bueno y 0.5 en excelente.

Exámenes de calidad y logro educativo (EXCALE)

El examen de calidad y logro educativo (EXCALE) es una evaluación elaborada por el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación, que desde 2005 evalúa los niveles de logro curricular que han podido alcanzar los estudiantes como resultado de su escolaridad en educación básica.

Durante el ciclo escolar 2008-2009 la prueba se aplicó a 80 mil 525 estudiantes de las 3 mil 300 escuelas secundarias generales, técnicas, telesecundarias y privadas en el país. Los resultados, en la parte de ciencias naturales comprendieron por última vez la revisión de los contenidos de los cursos de biología para educación secundaria del plan de estudios de 1993.

En su versión de 2008 Excale de biología estuvo integrada por cien reactivos divididos en cuatro grupos de habilidades y conocimientos: a) el mundo de los seres vivos, b) niveles de organización celular y funciones vitales, c) ecología y d) genética, reproducción humana y salud. Estos fueron organizados en cuatro niveles por su grado de dificultad: Por debajo del básico, Básico, Medio y Avanzado.

Los resultados de la prueba muestran que a nivel nacional, el porcentaje más alto de alumnos (63%) se ubica en el nivel básico, en tanto que el más bajo corresponde al nivel avanzado con 2%, le siguen el nivel medio con 11 % y por debajo del básico con 24%. Se presentan diferencias importantes en las diferentes modalidades de la educación secundaria.

Se observa que el grupo de habilidades y conocimientos en el que se obtuvieron mejores resultados en la población nacional de secundaria es Ecología (55.73%), le sigue Genética, reproducción humana y la salud (52.80%). El tercer lugar de dominio lo ocupan Niveles de organización celular y funciones vitales (47.87) y el cuarto El mundo de los seres vivos, (46.97%).

2.2. Contexto de las TIC en la enseñanza de la biología en México

El proceso de incorporación de las TIC en México ha recorrido un camino de más de 30 años. A partir de las políticas de apertura económica en la década de los noventa, se impulsaron con mayor fuerza proyectos que suponían en la mayoría de los casos una combinación de políticas de equipamiento informático, dotación de programas específicos para las tareas de enseñanza, y capacitación para los docentes. Como lo menciona Galarza, pocas veces los programas abordaban problemas relacionados con la sustentabilidad de las iniciativas, de forma que el alcance de los proyectos en muchas ocasiones fue muy limitado⁷⁸.

En la actualidad, la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (tic) se ha convertido en un elemento central en las políticas educativas. Dentro de los objetivos planteados en la *CMSI*, se planteó utilizar las tic para conectar a universidades, escuelas superiores, escuelas secundarias y escuelas primarias. Y se hizo énfasis en el papel primordial como herramientas para combatir la pobreza y permitir a los distintos gobiernos del mundo alcanzar niveles más elevados de desarrollo. Se generaron 34 indicadores sobre el aprovechamiento de las tic en los planteles educativos (estos se incluyen en el anexo XIX).

Un aspecto importante por la finalidad de esta investigación es el significado que se da a las TIC en el contexto de este trabajo. Para ello, siguiendo el planteamiento de Palamidessi.

Las tic representan tramas de artefactos, técnicas, conocimientos y saberes que se articulan con las prácticas sociales, los conocimientos y los sistemas de orientación en interpretación de las personas y los grupos que las utilizan⁷⁹

Tomando como referencia esta definición, a continuación se presenta un cuadro cronológico de los esfuerzos realizados en México para incorporar la tecnología educativa en la escuela.

⁷⁸ Palamidessi, M. *Op. cit.*, nota 50, p. 34

⁷⁹ Palamidessi, M. *Op. cit.*, nota 50, p. 18

1968	Telesecundaria	Este modelo consiste en el empleo de transmisiones televisivas para impartir la instrucción secundaria. En muchas comunidades rurales representa la única opción post primaria para los jóvenes en edad escolar. Este modelo ha sido objeto de tres reformas desde su establecimiento.
1990 - a la fecha	Acondicionamiento de salas de cómputo	La incorporación de equipos de cómputo se fue dando desde la década de los años noventa hasta la fecha, como una política seguida por muchos gobiernos estatales con apoyo de algunas ONG y fundaciones privadas. Esta política se materializó cuando se destinó un aula de la escuela como laboratorio de computación con una dotación inicial de 5 a 20 equipos de cómputo. Las salas se usaban para aprender computación, por lo que tanto los alumnos como los profesores tuvieron la oportunidad de alfabetizarse tecnológicamente en ellas. Poco a poco las salas fueron conectadas a internet y renovadas o bien los equipos se fueron haciendo obsoletos
1995	Red Edusat	Fue inaugurada en 1995 como el Sistema Nacional de Televisión Educativa. Actualmente es la red de televisión educativa más grande en el mundo ya que tiene un alcance continental. Nació en una plataforma analógica y después emigró a la plataforma digital, a través del satélite Satmex 5. Cuenta con doce señales de TV con doce horas diarias de programación cada una y con tres canales de radio. Con este sistema se transmiten programas educativos que llegan a las comunidades aisladas en aquellas escuelas que cuentan con las antenas receptoras necesarias para bajar la señal satelital
	Red escolar	Sitio o portal en internet que condensa proyectos colaborativos, ofrece talleres y seminarios para niños, jóvenes, maestros y padres de familia. El material que contiene está orientado a la educación básica, especialmente busca reforzar la aplicación de los enfoques pedagógicos de las diversas materias escolares y valora la consulta, la expresión de testimonios, el diálogo y el debate.
	Enciclomedia	En México desde hace 50 años se han impreso libros de texto que son repartidos en forma gratuita entre todas las escuelas primarias públicas para garantizar que todos los niños cuenten con los libros indispensables. En el ciclo escolar 2009-2010, se entregaron alrededor de 190 millones de libros en todo el territorio nacional, para más de 25 millones de alumnos. Enciclomedia constituye la edición digital de los Libros de Texto Gratuitos de todos los grados de la educación primaria. La versión digital de los libros fue enriquecida a través de hipervínculos con diversos recursos didácticos como imágenes fijas y en movimiento, interactivos, audio, videos, mapas, visitas virtuales, y otros recursos de la enciclopedia Microsoft Encarta®. Miles de escuelas primarias fueron dotadas con el equipo necesario para su uso. Éste se compone de una computadora de escritorio, un pizarrón electrónico para ser utilizado como pantalla sensible al tacto, bocinas y proyector de imágenes. En la computadora se instalaba la versión digital de los libros, la cual utiliza toda la memoria disponible del equipo de cómputo. De esta forma se prescinde de la conexión a Internet, ya que el equipo en el salón de clases contiene todo el software necesario .

Fuente. Heredia, Y. (2010). Incorporación de tecnología educativa en educación básica: dos escenarios escolares en México.

Desde hace dos años que se realiza la reforma de la educación media superior y la de la educación básica, en las que se hacen esfuerzos para la elaboración de un “currículo digital”. Esto es, la elaboración y catalogación de objetos de aprendizaje de mayor o menor interactividad que sean colocados en repositorios y que los profesores con equipos de computo con acceso a internet puedan acceder a ellos y utilizarlos como materiales didácticos que apoyen su trabajo en el aula.

En este capítulo se hizo una revisión breve del contexto científico y tecnológico en México para después analizar la situación de la enseñanza de la ciencia, y en particular la biología, en la educación secundaria. En nuestro país, los procesos de reforma educativa han sido una constante en prácticamente todos los grados educativos.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se retomó el modelo de enfoque dominante propuesto por Hernández y Sampieri para combinar componentes cuantitativos y cualitativos en la investigación educativa⁸⁰.

3.1 Selección y recopilación de la información

La primera parte de la investigación consistió en la selección y recopilación de la información. La técnica empleada fue una revisión bibliográfica y hemerográfica en distintas bibliotecas y entidades de la UNAM, entre ellas: la Biblioteca Central, la biblioteca de la Facultad de Ciencias, la biblioteca de la Facultad de Ciencias Políticas, el Instituto de Investigaciones Filosóficas, y la Hemeroteca Nacional. También se realizó una búsqueda cibergráfica en el laboratorio de Historia y Filosofía de la Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Las principales fuentes de consulta fueron libros, tesis, artículos, ensayos, y trabajos presentados en congresos, simposios y seminarios.

Para llevar a cabo la revisión bibliográfica se siguieron tres ejes rectores:

- Identificación de estudios previos sobre el tema de la tesis
- Elección de autores y obras representativas para elaborar el marco teórico-metodológico (disciplinario y pedagógico)
- Selección de propuestas didácticas elaboradas en el contexto nacional e internacional para la enseñanza de la biología

3.2 Análisis de los contenidos biológicos

El análisis de los contenidos biológicos se hizo mediante la elaboración de tablas comparativas y una estructura conceptual como herramienta analítico-conceptual, que se desarrolló siguiendo la propuesta definida por García en 2000⁸¹. Los criterios de selección

⁸⁰ Estos autores distinguen tres modalidades para combinar los enfoques de investigación cuantitativos y cualitativos: a) el modelo en dos etapas, en el que la investigación implica una primera etapa cuantitativa y una segunda cualitativa, b) el modelo de enfoque dominante, en el cual la investigación sigue los procedimientos generales de uno de los enfoques al tiempo que conserva algunos elementos del otro enfoque, c) el modelo mixto, en el que ambos enfoques se combinan durante toda la investigación.

⁸¹ Las estructuras conceptuales fueron planteadas por como herramientas analítico conceptuales propias de la práctica docente. García, J. V. (2000). Propuesta didáctica centrada en contenidos, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

que se establecieron para definir los conceptos centrales de la propuesta didáctica, se basaron en la identificación de los momentos más representativos para la biología a lo largo de siglo XX y principios del XXI, los conceptos centrales de las propuestas didácticas de la biología abordadas en el inciso 1.2 de este documento y la consideración de las TIC en el proceso enseñanza-aprendizaje de la biología.

3.3 Área de estudio y poblaciones participantes

La Dirección de Desarrollo Social de la Delegación Tlalpan imparte anualmente cursos de biología y otras materias, para alumnos de secundaria, con una duración de treinta horas por asignatura. El objetivo de los cursos es preparar a un grupo de alumnos, de 15 a 17 años, para realizar el examen de ingreso al bachillerato. Durante el periodo de mayo a junio de 2010, se implementó la propuesta didáctica en la "Escuela Secundaria No. 125 "Pablo Casals". Para ello se comparó el rendimiento entre 4 grupos.

- Población 1: dos grupos de intervención de tercero de secundaria (entre 16 y 18 años) en los que se implementó la propuesta didáctica (n=30)
- Población 2: dos grupos control de tercero de secundaria (entre 16 y 18 años) en los que se utilizaron métodos convencionales de enseñanza (n= 30)

3.4 Instrumentos para la toma de datos

Esta investigación se centró en los datos que se obtuvieron a través de un instrumento de evaluación inicial y final. El instrumento (se incluye en el anexo IV) constó de dos secciones. La primera está integrada por 40 reactivos de opción múltiple, y la segunda, por tres preguntas y 15 conceptos iniciales para la elaboración de tres mapas conceptuales.

Los mapas conceptuales partieron de la propuesta de Arbea⁸², a través de la cual se definieron tres niveles de análisis: básico, medio y avanzado. Los mapas conceptuales que se tomaron como referente fueron los que se incluyen en el libro de Conocimientos Fundamentales de Biología (anexo VII).

⁸² Arbea, J., 2004, Mapas conceptuales y aprendizaje significativo de las ciencias naturales, Ponencia en la Primera Conferencia Internacional de Mapas Conceptuales, Pamplona, España.

Para el desarrollo del instrumento de evaluación se definieron los siguientes *objetivos del curso*:

- Revisar los contenidos biológicos necesarios para acreditar de forma satisfactoria la sección correspondiente a este tema en el examen de conocimientos mínimos para el ingreso al bachillerato en su versión 2010.
- Interpretar el desarrollo histórico de la biología y comparar los métodos empleados en esta ciencia con los utilizados en ciencias como la física y la química.
- Identificar y reforzar los conceptos centrales de la biología (principios unificadores), y la forma en que se representan en los programas vigentes.
- Aprender a utilizar herramientas multimedia para reforzar lo revisado en clase y generar mapas conceptuales
- Participar en la construcción de un videopodcast para expresar y debatir las ideas revisadas en el curso.

La planeación global del curso (se incluye en el anexo 1) se realizó considerando la guía EXANI en su versión 2010 elaborada por el CENEVAL, organismo encargado de la elaboración del examen de ingreso al bachillerato. Y partiendo de su inserción en la estructura conceptual.

La planeación global constó de ocho unidades didácticas, con sus respectivos temas y números de sesiones necesarios para la revisión de los contenidos. Se elaboraron cartas descriptivas para cada sesión incluyendo en cada caso un resumen de: temas, subtemas, aprendizajes esperados, estrategias y recursos didácticos, y evaluación. Todas las cartas descriptivas diseñadas para la propuesta se encuentran en el anexo 1.

3.5 Diseño de los recursos de la propuesta didáctica.

La propuesta didáctica que se presenta fue elaborada utilizando una técnica de diversificación de recursos. Para ello se revisaron propuestas generadas por diferentes autores u organizaciones del área de la enseñanza de la ciencia y se retomaron aquellos aspectos que resultaron pertinentes para los fines de la propuesta didáctica generada en esta investigación.

Los recursos utilizados en la propuesta se pueden dividir en dos tipos principales: un conjunto de prácticas escritas y la elaboración de recursos digitales.

Prácticas escritas

Se elaboraron 15 prácticas, retomando algunas de las consideraciones que se presentan en las prácticas diseñadas como parte del programa *Science Education for the Public Understanding Program* (SEPUP) de la Universidad de Berkeley⁸³.

Cada práctica está estructurada en cuatro secciones: objetivos, descripción, análisis y reflexión. La finalidad de las prácticas fue permitir a los alumnos contar con un recurso que orientara la revisión de los contenidos, permitiera integrar los elementos digitales en el contexto de los temas revisados y sirviera posteriormente como una herramienta de divulgación. Todas las prácticas se incluyen en el anexo. En las prácticas se incluye un conjunto de ilustraciones del *Libro para colorear de biología* (The biology colouring book) publicado en 1986.

El diseño de la iconografía estuvo a cargo de la diseñadora María Luciana Gallegos Dino-Guida.

Recursos digitales

Se elaboró un sitio web denominado Laboratorio Interactivo de Biología (LIB 1.0), con información biológica actualizada, que sirvió como acervo de los diferentes recursos didácticos. Para generar esta plataforma se utilizó un sistema de gestión de contenidos denominado “Drupal”, un programa de fuente abierta con licencia GNU/GLP, escrito en PHP y actualizado por una comunidad activa de usuarios. La diagramación del sitio web se encuentra en el anexo 1. Y la base de datos dinámica que se generó como resultado del curso se incluye en el CD que se incluye en este trabajo.

La elaboración de los recursos digitales partió de la categorización que hizo Gewerc de los diferentes tipos de interacción que promueven los sitios web. Se estableció el nivel 5 como objetivo del sitio elaborado para la propuesta didáctica y se definieron los recursos didácticos por integrar: 1) foros digitales, 2) actividades interactivas, 3) videos, 4) mapas conceptuales y 5) videopodcast.

⁸³ Para consultar más detalles del programa visitar la dirección: <http://sepuplhs.org/>

Se definieron tres foros digitales, cada uno de ellos sobre un tema específico. El primer tema fue “¿Qué es la ciencia?”. En éste se pidió a los alumnos que contestaran las preguntas ¿Qué es la ciencia? y ¿Cuál es la importancia de la biología? y que posteriormente observaran la cápsula elaborada por la Coordinación de la Universidad Abierta y Educación a Distancia (CUAED) sobre el mismo tema. En el segundo foro se abordó el tema de la evolución. Para ello se pidió a los alumnos que observaran un video y explicaran la relación que tenemos con los simios. En el tercer foro, titulado “Genoma Humano”, se pidió a los alumnos que explicaran algunas de las consecuencias que podía tener el estudio del genoma humano. Los foros y las respuestas generadas se incluyen en el anexo 2.

Las actividades interactivas comprenden principalmente recursos elaborados por la Universidad de Utah. El listado de todos los sitios dónde se encuentran las actividades interactivas se encuentra en el anexo 2.

Los videos que se utilizaron se seleccionaron del sitio web “Cosmeo” elaborado por *Discovery Channel*.

Los mapas conceptuales se desarrollaron utilizando como herramienta un *software* libre llamado CMAPTools, y se incluyeron en la plataforma como herramientas de evaluación y análisis.

Se generó una serie de podcast, a partir videos elaborados por alumnos de secundaria, como parte de un proyecto I+D+I, en el que participó la Universidad de Barcelona.

3.6 Evaluación de la efectividad de la propuesta didáctica

Se aplicó una evaluación inicial y final en el grupo con intervención y el grupo control. Los datos obtenidos se examinaron a través de un análisis estadístico descriptivo, utilizando para ello medidas de tendencia central, varianza y desviación estándar. Debido a que el tamaño de la muestra es $n=60$, y no se realizó un muestreo aleatorio entre las poblaciones, se realizó la prueba T para comparar las medias entre las poblaciones. Para el análisis se utilizó el software estadístico SPSS (*Statistical Package of Social Sciences*, versión 10.8)

La efectividad de los recursos propuestos se evaluó de forma cualitativa. También se determinó un índice de participación en el LIB 1.0, que contemplaba el total de visitas en horarios fuera de clase.

CAPITULO IV. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados del proceso de investigación, así como aquellos derivados del diseño y la contrastación de la propuesta didáctica en el aula a través del uso de instrumentos para la evaluación de los aprendizajes. La forma como se organizó la presentación de los resultados comienza con el referente histórico; se muestra en primera instancia el cuadro con los conceptos centrales identificados a partir de la definición de los eventos más representativos para el desarrollo de la biología en el siglo XX; a continuación se presentan los cuadros comparativos con los conceptos centrales de dos propuestas educativas actuales: *Conocimientos Fundamentales de Biología* (2006) elaborado por un grupo interdisciplinario de especialistas en la biología y la educación, y el *Libro de Biología para el Maestro* (*The biology teacher's handbook*), publicado en 2009 por el Instituto Americano de Ciencias Biológicas; finalmente se expone el cuadro con los principales ejes de acción y los conceptos más representativos de la Didáctica de las Ciencias Naturales.

En el segundo inciso de este capítulo se muestra la forma como se integraron los conceptos biológicos y didácticos en una estructura conceptual, herramienta que sirvió como base de referencia teórica de la propuesta didáctica generada en esta investigación. Para finalizar se exponen los elementos que integran la propuesta y se hace una interpretación de los resultados sobre su efectividad en el aula

4.1 Referente histórico

El objetivo de este inciso es mostrar la información histórica que se recabó y mencionar las consideraciones disciplinarias que fueron tomadas en cuenta para la elaboración de la estructura conceptual que fundamenta la propuesta didáctica que se presenta. Para ello a continuación se presentan cuatro cuadros, seguidos de un análisis breve sobre el contexto de la biología y su enseñanza, y una reflexión breve sobre la articulación de los distintos componentes (histórico, disciplinario y pedagógico) en la propuesta.

En el cuadro 2 se muestran de forma cronológica cuatro de los eventos más representativos para la biología durante el siglo XX y principios del XXI, considerados en esta investigación. Estos son: 1) la síntesis moderna, 2) el desarrollo de la biología molecular, 3) el establecimiento del enfoque CTS en la biología y 4) la consolidación de la era postgenómica.

Cuadro 2. Principales eventos biológicos del siglo XX y principios del XXI

Eventos más representativos para la biología en el siglo XX	Conceptos centrales	Principales autores
1. Síntesis moderna Periodo: 1918-1947	1.1 Evolución - Variación - Selección natural - Adaptación - Población - Fuerzas evolutivas - Microevolución 1.2 Genética de poblaciones - recombinación - mutación 1.3 Genética - poligenia - pleiotropía	J.B.S. Haldane R. A. Fisher S. Wright E. Mayr T. Dobzhansky C. D. Darlington E. Mayr G. Simpson L. Stebbins

	1.4 Sistemática 1.5 Biogeografía 1.6 Paleontología 1.7 Bioquímica 1.8 Citología	
2. Desarrollo de la Biología Molecular Periodo: 1947-1960	2.1 Biofísica - Estructura molecular - Cristalografía de rayos X - Secuenciación de proteínas - Electrofisiología - Efectos de la radiación - Ciencias biomédicas - Difracción de rayos X 2.2 Microbiología 2.2 Bioquímica 2.3 Biotecnología	E. Griffith O. Avery C. McLeod M. McCarty M. Perutz J. Kendrew J. Watson F. Crick F. Sanger S. Brenner W. L. Bragg M. Wilkins R. Franklin G. W. Beadle E. Tatum L. Pauling G. Gamow P. Zamecnik M. Meselson M. Nirenberg G. Korana F. Jacob
3. Establecimiento del enfoque CTS en la biología Periodo: 1960-2009	2.1 Nueva Biología 2.2 Sustentabilidad 2.3 Sistemas Complejos 2.4 CTS+I	T. Dobzhanskyk R. Dubos D. R. Goddard J. Lederberg J. V. Neel F. Notestein R. R. Revelle National Research Council
4. Consolidación de la era Postgenómica	3.1 Bioinformática 3.2 Inteligencia artificial 3.3 Biofísica 3.4 Informática 3.5 Algoritmos genéticos 3.6 Autómatas celulares 3.7 Sistemas de Lindenmayer 3.8 Redes neuronales artificiales 3.9 Agentes autónomos 3.10 Vida artificial 3.11 Ingeniería Bioquímica 3.12 Microbiología: 3.13 Genómica 3.14 Proteómica 3.15 Biología <i>in silico</i> 3.16 Biología digital 3.17 Ciberbiología 3.18 Biocapital	T. H. Morgan C. Davenport M. Delbrück S. Luria A. Hershey E. Ellis M. Chase A. Garrod A. Kornberg W. Arber S. Cohen H. Boyer P. Berg W. Gilbert M. Ptashne T. Maniatis P. Leder Departamento de Energía (DOE) European Molecular Biology Lab S. Rajan

En el cuadro 3 se muestran los conceptos centrales que se identificaron en la propuesta norteamericana en *The Teacher's Biology Handbook* en sus versiones de 1964 y 2009. Esta propuesta fue elaborada por el Instituto Americano de Ciencias Biológicas para orientar la elaboración de cursos de biología enfocados en educación media.

Cuadro 3. Propuestas educativas definidas en 1964 y 2009 en Estados Unidos

Propuesta	Ejes	Conceptos
Título: Biology Science Curriculum Studies (Instituto Americano de Ciencias Biológicas) Autor: Instituto Americano de Ciencias Biológicas Año: 1964	<ol style="list-style-type: none"> 1. Principios unificadores de la biología 2. Niveles de organización en los seres vivos 3. Clasificación biológica 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Epistemología de la ciencia 1.2 Historia de la biología 1.3 Evolución 1.4 Diversidad y uniformidad 1.5 Continuidad genética 1.6 Organismos y ambiente 1.7 Comportamiento 1.8 Estructura y Función 1.9 Regulación 2.1 Molecular 2.2 Celular 2.3 Tejidos y órganos 2.4 Individuo 2.5 Población 2.6 Comunidad 2.7 Bioma 3.1 Animales 3.2 Plantas 3.3 Protistas
Título: Biology Science Curriculum Studies Autor: Instituto Americano de Ciencias Biológicas Año: 2009	<ol style="list-style-type: none"> 1. Principios unificadores de la biología 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evolución 2. Interacciones e interdependencia 3. Continuidad genética y reproducción 4. Crecimiento, desarrollo y diferenciación 5. Energía, materia y organización 6. Mantenimiento del equilibrio dinámico

En el cuadro 4 se incluyen los conceptos centrales de la propuesta *Conocimientos Fundamentales de Biología*, publicada en 2006, y elaborada como una acervo con los contenidos esenciales que deben poseer los alumnos al finalizar su ciclo de instrucción media superior.

Cuadro 4. Principales ejes y conceptos de la propuesta Conocimientos Fundamentales de Biología definida en 2006

Propuesta	Ejes	Conceptos
Título: Conocimientos Fundamentales de Biología Autor: Grupo interdisciplinario de CFB Año: 2006	<ol style="list-style-type: none"> 1. Epistemología de la biología 2. Biología celular, molecular y Bioquímica 3. Genética 4. Evolución 5. Ecología 6. Biología y sociedad 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Objeto de estudio de la biología 1.2 Historia y filosofía de la biología 1.3 Teorías biológicas 2.1 Biología molecular de la célula 2.2 Multicelularidad 2.3 Reproducción sexual y asexual 3.1 Biología molecular del gen 3.2 Biología genómica 4.1 Evolución biológica 4.2 Evolucionismo 4.3 Variación 4.4 Procesos evolutivos 5.1 Ecología 5.2 Ambiente 5.3 Poblaciones 5.4 Comunidades 5.5 Ecosistemas

En el cuadro 5 se presentan los principales ejes del campo científico que comenzó a definirse en la década de los setenta, denominado Didáctica de las Ciencias Naturales.

Cuadro 5. Conceptos centrales de la didáctica de las ciencias naturales

Disciplinas y modelos	Ejes
Didáctica de las Ciencias Naturales	4.1 Las TIC en la educación 4.2 Ideas previas 4.3 Concepción docente de la ciencia 4.4 Las relaciones C.T.S 4.5 La educación ambiental 4.6 La evaluación en ciencias 4.7 La resolución de problemas 4.8 El diseño curricular 4.9 Los modelos didácticos 4.10 Los metaconceptos o conceptos estructurantes 4.11 La formación y capacitación docente en ciencias.

Los fundamentos científicos, pedagógicos y didácticos que se presentaron en el primer capítulo, y se expusieron de forma sintética en los cuadros anteriores, permiten observar la complejidad y estado dinámico de las ciencias biológicas. El desarrollo de la biología durante el siglo XX y principios del siglo XXI muestra que las disciplinas biológicas han tenido que encontrar respuestas de forma continua a problemas no solo biológicos, sino también sociales. Como se mostrará a continuación esta situación permite cuestionar las diferentes aproximaciones en la enseñanza de la biología y validar los enfoques más cercanos a los problemas actuales de esta disciplina.

La información que se recabó muestra que en los Estados Unidos, durante las primeras décadas del siglo XX, fue muy difícil establecer una sociedad biológica en la que existiera consenso sobre la integración de las diferentes disciplinas biológicas en una ciencia unificada. Esta situación se debió en parte a la postura aparentemente irreconciliable que mantuvieron los naturalistas y los experimentalistas durante ese periodo. Pero también al entramado científico que se consolidó durante la segunda revolución industrial.

Las diferencias en la validación del conocimiento científico a través de los métodos experimentales, comparativos y observacionales, puede interpretarse desde las características propias de la segunda revolución industrial. Esta revolución, que abarcó el periodo desde 1870 hasta mediados del siglo XX, tuvo como una de sus características distintivas el papel de la ciencia para promover las innovaciones. Esto condujo a una fase de desarrollo en países industrializados como: Alemania, Estados Unidos, Inglaterra y Francia,

en los que el progreso científico y tecnológico estuvo vinculado al método experimental como elemento central en la validación del conocimiento.

Esta situación contribuyó a que áreas como la embriología experimental, la fisiología, y la genética contaran con un mayor apoyo que otras áreas de las ciencias de la vida. Entre estas ciencias, la genética mantuvo un importante tradición y desarrollo durante el siglo XX en los laboratorios de la Universidad de Columbia, el Instituto Tecnológico de California, Cold Spring Harbor en los Estados Unidos y la Universidad de Cambridge en Inglaterra, entre otros. Aunque constituyó un elemento central en el desarrollo de la biología, la estabilidad de esta línea de investigación desde finales del siglo XIX permitió enfocar el análisis de los momentos más representativos para la biología desde las perspectivas mencionadas.

Los elementos que se presentan en el primer apartado del cuadro dos representan las áreas que lograron integrarse con la síntesis moderna, situación que se oficializó en la conferencia “Genética, Paleontología y Evolución” que se celebró en Princeton en 1947, y los conceptos centrales que permitieron definir el programa evolucionista en el marco de la teoría sintética de la evolución. La validación de la selección natural como uno de los mecanismos evolutivos y la definición la mutación y la recombinación como fuentes de la variación, desde el enfoque poblacional de la genética de poblaciones, permitió contar con una base sólida para abordar los procesos evolutivos y extrapolarlos a las diferentes áreas de esta ciencia.

Además de haber sido fundamental en la unificación de la biología, la confirmación de la evolución como el principio unificador más importante para las ciencias biológicas, permitió contar con un argumento sólido para validar el enfoque de la enseñanza de esta ciencia desde la perspectiva de la biología evolutiva.

Como se mencionó anteriormente la biología ha tenido que brindar continuamente soluciones a problemas sociales. Durante la Segunda Guerra Mundial el conocimiento biológico fue crucial para resolver problemas relacionados con el tratamiento y control de infecciones, el desarrollo de fármacos, el control de enfermedades, la respuesta ante armas químicas, etc. Si bien la guerra constituyó uno de los periodos de mayor desarrollo científico y tecnológico en la historia de la humanidad. En el periodo de posguerra se desarrollaron una serie de avances tecnológicos que revolucionaron completamente la biología.

Durante el periodo de posguerra se tuvo que reestructurar la orientación de la investigación científica. En la guerra la investigación en las universidades estuvo enfocada en las ciencias físicas. Uno de los ejemplos que mejor exponen esta reestructuración de la

ciencia con una base física fue el desarrollo de la biología molecular. Como se expuso anteriormente, el laboratorio de biofísica, ubicado en el ala de física, en la universidad de Cambridge en Inglaterra, fue el sitio donde se sentaron las bases de la biología molecular.

En el segundo apartado del cuadro dos se muestran las disciplinas y conceptos más relevantes durante el periodo de desarrollo de la biología molecular. A través del empleo de técnicas con una base física, como: la cristalografía, radioactividad y difracción de rayos X, se consolidaron programas de investigación biológica en la etapa de posguerra, como la electrofisiología, los efectos de la radiación en los seres vivos, el estudio de estructuras moleculares y la secuenciación de las proteínas. Estos serían clave el establecimiento de la biología molecular.

Cabe mencionar que en la década de los sesenta, en la Universidad de Cambridge, comenzaron a utilizarse las primeras computadoras para el análisis de estructuras moleculares. Aunque Margaret Dayhoff utilizó en 1947 las tarjetas perforadas por primera vez para realizar cálculos en un problema biológico, fue a partir de la década de los sesenta que inició la comercialización a mayor escala de las computadoras, su uso poco a poco se integraría en diferentes subdisciplinas biológicas como: la sistemática, la biología molecular, la ecología, la genética, la microbiología, etc.

Los avances tecnológicos durante la guerra fueron fundamentales para posibilitar el establecimiento de un área de investigación (la biología molecular), proveyeron una serie de nuevas metodologías para los estudios en diferentes disciplinas biológicas y sentaron las bases de diferentes programas de investigación. Esta situación muestra el carácter dinámico de esta ciencia y el vínculo que mantiene con el factor social.

En el capítulo 1 se expuso que el establecimiento del enfoque CTS en la ciencia partió de la necesidad de gestionar los complejos de investigación académico-industriales con una orientación militarista. Bajo este enfoque se cuestionó la imagen tradicional de la ciencia y la tecnología, que se encontraba aislada del contexto social, político y económico.

La importancia de este enfoque en la biología es que permitió reorientar el desarrollo científico y tecnológico, al identificar nuevos paradigmas que pusieron en evidencia la necesidad de contar con un nuevo tipo de aproximación metodológica, como la definida a partir del estudio de los sistemas complejos. Un aspecto interesante que se refleja en el documento “la Biología y el futuro del Hombre”, publicado en 1968 por el Comité de Investigación en Ciencias de la Vida, es el énfasis en los aspectos sociales de la biología. Como se observa en el tercer apartado del cuadro dos, en la actualidad la propuesta de la

“Nueva Biología” elaborada por el mismo comité en 2009, plantea como una de las principales líneas de la investigación biológica en la actualidad los problemas sociales, incluyendo el paradigma de la sustentabilidad y las nuevas aproximaciones a través de las ciencias de la complejidad.

La respuesta disciplinaria de la biología frente a los desafíos sociales ha mostrado a lo largo de la historia la importancia de validar esta aproximación en la enseñanza de esta ciencia. De forma que la inclusión del enfoque CTS y la educación para el desarrollo sostenible representan elementos fundamentales en el diseño de propuestas para la enseñanza de la biología.

En la cuarta sección del cuadro dos correspondiente a la era postgenómica, se presentan los principales conceptos relacionados con el establecimiento de esta nueva fase en la investigación biológica. Al abordar este periodo se muestra la incursión de la biología en los procesos propios de la tercera revolución industrial, a través de la integración de herramientas tecnológicas, como las primeras bases de datos que sirvieron para almacenar las secuencias de DNA y RNA, y procesos de gestión empresarial y administrativa que posibilitaron el auge de la empresa biotecnológica.

La era postgenómica se definió a partir de los avances científicos, tecnológicos y económicos que han tenido lugar a partir de la identificación de genomas (humanos y no-humanos) que constituyen la base de un nuevo paradigma en la biología y han generado una nueva faceta de investigación en torno a lo vivo. Esto muestra la tendencia actual de la investigación biológica y permite validar la generación de un enfoque que resalte la importancia de esta aproximación.

Los momentos que se muestran en el cuadro dos constituyen el contexto del desarrollo de la biología. Su definición tuvo como objetivo proveer de un marco comparativo entre el desarrollo de esta disciplina, para abordar posteriormente su representatividad con dos propuestas actuales para la enseñanza de esta ciencia. A continuación se presenta un análisis breve de dos propuestas educativas actuales que permitieron comparar la representatividad del contexto biológico con el de la enseñanza de esta ciencia.

En el cuadro tres se presentan los principales ejes de la propuesta del Libro de Biología para el Maestro (*Biology Teacher's Handbook*). En el primer capítulo se mencionó que en los Estado Unidos, el establecimiento del Instituto Americano de Ciencias Biológicas en 1947, fue en paralelo con la unificación de la biología a partir de la Síntesis Moderna. En 1958 este instituto definió el programa “Estudios Curriculares de las Ciencias Biológica”. Esta

situación dio un giro importante para la enseñanza de la biología, a partir de un enfoque distinto a través de la consideración de la biología como una ciencia unificada.

Junto con la primera edición del *Libro de Biología para el Maestro*, publicada en 1960, se desarrollaron tres libros para los alumnos de educación media con énfasis en la biología molecular, la ecología y la biología celular. Los principios unificadores que se propusieron en la primera versión fueron nueve, listados en el cuadro tres, definiendo además 7 niveles de organización y un sistema de clasificación basado en tres categorías de seres vivos. La versión de 2009 corresponde a la cuarta edición de este libro. En esta, el elemento central se redujo únicamente a los principios unificadores, los cuales a diferencia de la primera edición se redujeron a seis. La importancia de esta obra radica en el énfasis que se hace en abordar la enseñanza de contenidos biológicos desde una postura unificada de la biología.

Los principios unificadores que se exponen en el Libro de Biología para el Maestro incluyen la evolución. Y es posible identificar una correlación histórica con el resto; el mantenimiento del equilibrio dinámico en los seres vivos desarrollado en la teoría de la homeostasis de C. Bernard; el principio de organización de los seres vivos expuesto en la teoría celular de M. Schleiden y T. Schwann; el principio de continuidad genética y reproducción expuesto en la teoría de la herencia de Mendel, verificada posteriormente por H. de Vries; el principio de interacción e interdependencia en los organismos a través del establecimiento de la ecología; el crecimiento desarrollo y diferenciación abordado por K. E. Von Baer.

El libro *Conocimientos Fundamentales de Biología* es muy importante para la finalidad de investigación porque representa el acervo de contenidos que se tomó como referencia. Los conceptos centrales del libro son: biología celular, biología molecular, bioquímica, genética, evolución, ecología y biología y sociedad. El aspecto más importante de esta propuesta lo representa el énfasis que hace en la influencia de los aspectos sociales en la biología.

Las similitudes y diferencias de ambas propuestas fueron abordadas en el primer capítulo. La revisión de los diferentes conceptos centrales, permitió ubicar el eje de la propuesta a través de los principios unificadores. Estos, como se mostrará más adelante, fueron utilizados como ejes para articular los contenidos biológicos, los cuales se obtuvieron del libro *Conocimientos Fundamentales de Biología*.

Para integrar el contexto del desarrollo de la biología, la representatividad de los conceptos que se enseñan en la actualidad y el contexto didáctico. En el cuadro cinco se

muestran las principales líneas de acción de la Didáctica de las Ciencias Naturales, este campo científico, como se expuso anteriormente, constituye un cuerpo de conocimientos que centra su investigación en el aprendizaje de la ciencia y los problemas relacionados con su enseñanza. La importancia de este campo para esta investigación está en el énfasis que hace en el papel del docente como investigador de su propia práctica, el papel de las TIC en la enseñanza de la ciencia y las relaciones CTS.

4.2 Estructura conceptual generada en esta investigación

La estructura conceptual es una herramienta analítico conceptual que, siguiendo la propuesta de García⁸⁴, forma parte de la planeación docente. Con base en la búsqueda bibliográfica de los momentos más representativos para la consolidación de la biología en el siglo XX y el análisis de los núcleos conceptuales de las propuestas didácticas abordadas previamente, en el cuadro seis y la figura dos se presenta la estructura conceptual que se generó en esta investigación.

La estructura conceptual propuesta parte de cuatro conceptos centrales, estos son: la biología como en su marco teórico y disciplinario, la biología CTS, la era postgenómica y la Didáctica de las Ciencias Naturales.

⁸⁴ García, J. V. *Op cit.*, nota 61, 14-19 pp.

Cuadro 6. Conceptos centrales, conectados, secundarios y fundamentales de la estructura conceptual

Conceptos Centrales	Conceptos Conectados	Conceptos Secundarios	Conocimientos Fundamentales	
1. Biología	1.1 Principios unificadores 1.2 Epistemología de la biología 1.3 Disciplinas biológicas - Biología celular - Biología molecular - Bioquímica - Genética - Fisiología - Biología del Desarrollo - Ecología - Microbiología - Agricultura - Anatomía - Astrobiología - Bioclimatología - Bioingeniería - Biogeografía - Bioinformática - Biomatemáticas - Biofísica - Biotecnología - Botánica - Cronobiología - Etnobiología - Biología Evolutiva - Biología de ecosistemas de agua dulce - Geobiología - Inmunobiología - Biología Marina - Medicina - Micología - Neurobiología - Paleobiología - Parasitología - Patología - Farmacobiología - Biología de Protistas - Biología de Algas - Psicobiología - Toxicología - Virología - Zoología - Etología - Entomología - Ictiología - Herpetología - Ornitología - Biología de Mamíferos - Primatología	1.1.1 Evolución: patrones y productos del cambio 1.1.2 Interacciones e interdependencia 1.1.3 Continuidad genética y reproducción 1.1.4 Crecimiento, desarrollo y diferenciación 1.1.5 Energía, materia y organización 1.1.6 Mantenimiento del equilibrio dinámico 1.2.1 causas próximas 1.2.2 causas últimas 1.2.3 ciencia 1.2.4 deducción 1.2.5 historia natural 1.2.6 inducción 1.2.7 métodos 1.2.8 programa de investigación 1.2.9 teoría 1.2.10 vida 1.2.11 intercambio de información 1.2.12 procesamiento químico 1.2.13 mecanismos regulatorios 1.2.14 programas evolutivos 1.2.15 organización 1.2.16 sistemas teleonómicos 1.2.17 ciclo de vida 1.2.18 orden limitado de magnitud 1.2.19 sistemas abiertos 1.2.20 Métodos descriptivos 1.2.21 1.2.22 Métodos experimentales 1.2.23 estudio comparado 1.2.24 inferencia	1.1.1.1 Evidencias de la evolución - Evidencias moleculares - Evidencias paleontológicas - Evidencias estructurales - Evidencias del desarrollo 1.1.1.2 Hecho 1.1.1.3 Teoría 1.1.1.4 Eras geológicas - Biotas ancestrales - Extinción 1.1.1.5 Evolucionismo - Darwin - El origen de las especies - Wallace - Síntesis moderna 1.1.1.6 Variación - Variación individual - Variación poblacional - Variación fenotípica - Variación genotípica - Variación geográfica - Mutación - Recombinación 1.1.1.7 Procesos evolutivos - Selección natural - Endogamia - Migración - Deriva génica - Adaptación - Especiación - Coevolución 1.1.2.1 Ecología 1.1.2.2 Niveles de estudio - Ecología organísmica - Ecología de poblaciones - Ecología de comunidades y ecosistemas 1.1.2.3 Ambiente - Autopoesis 1.1.2.4 Población 1.1.2.5 Comunidad 1.1.2.6 Ecosistema 1.1.2.7 Ciclos biogeoquímicos 1.1.2.8 Contaminación atmosférica 1.1.2.9 Flujo de energía 1.1.2.10 Interacciones entre especies 1.1.3.1 DNA 1.1.3.2 gen 1.1.3.3 genoma 1.1.3.4 genotipo 1.1.3.5 alelo 1.1.3.6 dogma central de la biología 1.1.3.7 RNA 1.1.3.8 traducción 1.1.3.9 transcripción 1.1.3.10 reproducción asexual - Conjugación	- fisión binaria - partenogénesis - gemación 1.1.3.11 reproducción sexual - Cigoto - gameto - Recombinación 1.1.3.12 Cromosomas 1.1.4.1 Niveles de organización en los seres vivos - átomos - moléculas - células - tejidos - órganos - sistemas de órganos - organismo 1.1.4.2 Procarionte 1.1.4.3 Eucarionte - aparato de Golgi - núcleo - mitocondria - cloroplasto - retículo endoplásmico - ribosoma 1.1.4.4 Biomoléculas - lípidos - carbohidratos - proteínas (enzima) - ácidos nucleicos - lisosoma 1.1.4.5 fotosíntesis - ciclo de Calvin - clorofila 1.1.4.6 Respiración - cadena respiratoria - ciclo de Krebs - fosforilación oxidativa - glucólisis 1.1.4.7 ATP 1.1.4.8 Compartimentalización - pared celular - membrana celular 1.1.4.9 Citoplasma 1.1.5.1 Mórula 1.1.5.2 Blástula 1.1.5.3 Ciclo celular 1.1.5.4 Mitosis 1.1.5.5 Meiosis 1.1.6.1 Homeostasis 1.1.6.2 Reostasis

2 Nueva Biología	1.2.1 Biología CTS 1.2.2 Sistemas Complejos 1.2.3 CTS+I 1.2 Biología y Sociedad 1.2.4 1.2.5 Historia de la biología 1.2.6 Repercusiones sociales de la C y T 1.2.7 Epistemología de la biología	1.1.1 Sustentabilidad 1.1.2 Salud 1.1.3 Alimentación 1.1.4 Energía biotecnología ciencia discriminación genoma manipulación genética regulación sociedad tecnología transgénicos	
3 Era postgenómica	1.3.1 Biocapital 1.3.2 Genómica 1.3.3 Bioinformática 1.3.4 Proteómica 1.3.5 Vida artificial 1.3.6 Biología in silico metagenómica		
4 Didáctica de las Ciencias Naturales	1.5.1 Las TIC en la educación 1.5.2 Ideas previas 1.5.3 Concepción docente de la ciencia 1.5.4 Las relaciones C.T.S 1.5.5 La educación ambiental 1.5.6 La evaluación en ciencias 1.5.7 La resolución de problemas 1.5.8 El diseño curricular 1.5.9 Los modelos didácticos 1.5.10 Los metaconceptos o conceptos estructurantes 1.5.11 La formación y capacitación docente en ciencias.		

4.3 Unidades didácticas

En esta sección se muestran los diferentes elementos que integran las unidades didácticas. La planeación global, junto con las cartas descriptivas de cada sesión se encuentran en los anexos 1 y 2. En las figuras 4 a la 9 se muestra la representación de los módulos que se definieron para impartir el curso de biología. Al mismo tiempo se presentan los objetivos generales y específicos que se establecieron para hacer la revisión en el LIB 1.0 de los contenidos y recursos elaborados para el curso.

4.3.1 Unidad didáctica I: Biología, Tecnología y Sociedad

La unidad didáctica se desarrolló a partir del concepto central “Biología CTS”. A partir del análisis histórico que se realizó en esta investigación se priorizó la definición de la biología y su objeto de estudio a partir de la relevancia social de esta ciencia en la actualidad. En esta unidad también se expone la importancia de contar con un modelo de desarrollo sostenible que integre los problemas en materia de energía, salud, alimentación y ambiente.

Objetivo general

- Comprender la importancia de la biología en la solución de los problemas sociales actuales.

Objetivos particulares

- Conocer la diferencia entre seres vivos y objetos inanimados al describir las características distintivas de los primeros.
- Explicar qué son los principios unificadores de la biología.
- Listar los diferentes métodos utilizados en la investigación biológica.
- Reflexionar sobre la importancia de adoptar un modelo de desarrollo sostenible .

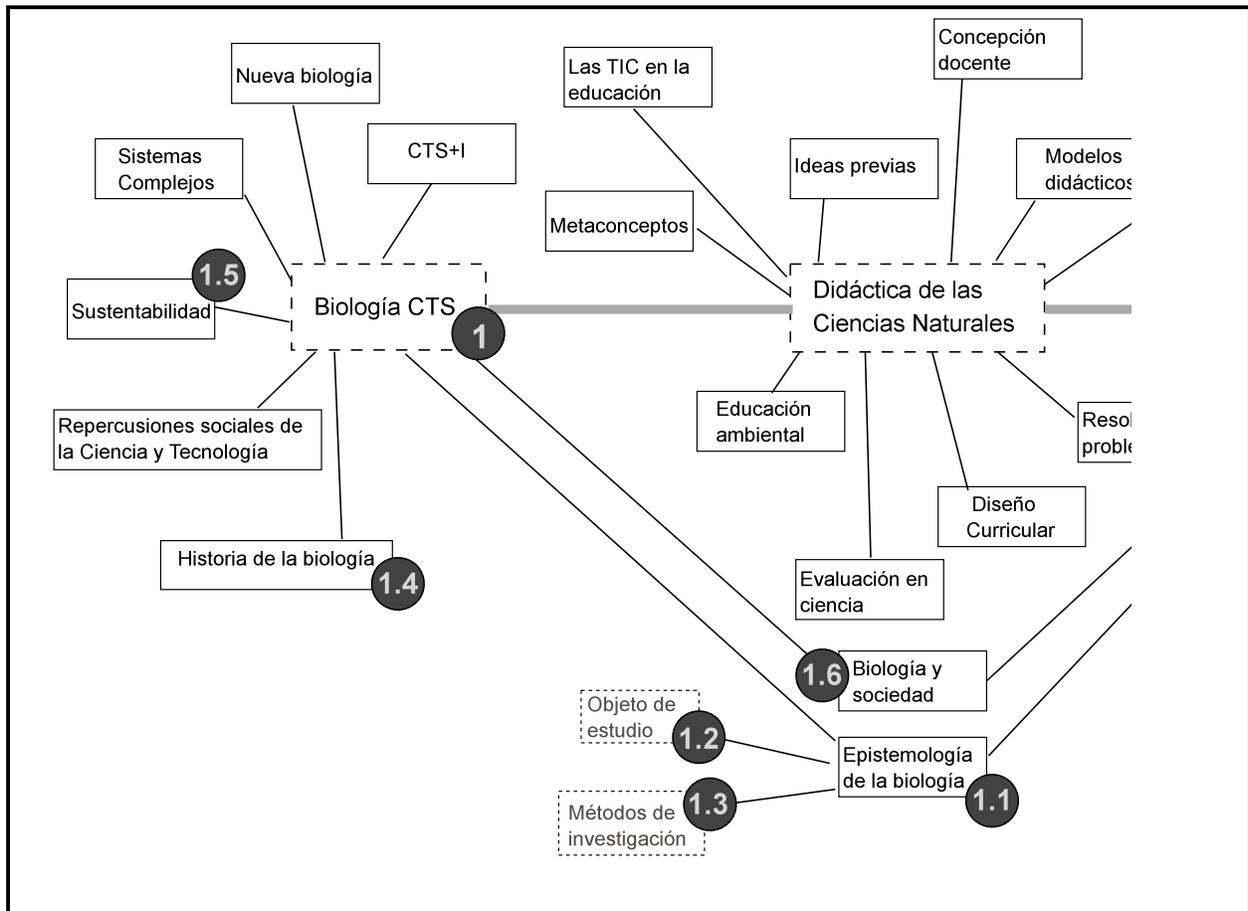


Figura 4. Secuencia didáctica de la unidad 1. Biología, Tecnología y Sociedad

4.3.2 Unidad didáctica II. Interacción e Interdependencia

La segunda unidad didáctica aborda el principio unificador "Interacción e Interdependencia". Los temas que se incluían en la guía EXANI planteaban la revisión de los conceptos: ecosistema, cadenas tróficas, ciclos biogeoquímicos y contaminación ambiental. Para su revisión se utilizaron dos prácticas, una actividad interactiva y se propusieron dos videos optativos. Es importante mencionar que en los antecedentes se revisó el concepto de autopoiesis, el cual se integro en la estructura conceptual aunado al concepto ambiente.

Objetivo general

- Comprender la importancia de los factores ambientales en la dinámica de cambio de los ecosistemas.

Objetivos particulares

- Explicar el principio de interacción e interdependencia.
- Conocer el objeto de estudio de la Ecología.
- Listar los diferentes niveles de estudio en la Ecología.
- Conocer los componentes básicos de un ecosistema.
- Conocer los factores que influyen en la definición de los principales ecosistemas en México.
- Analizar la forma como las actividades humanas modifican los ecosistemas.

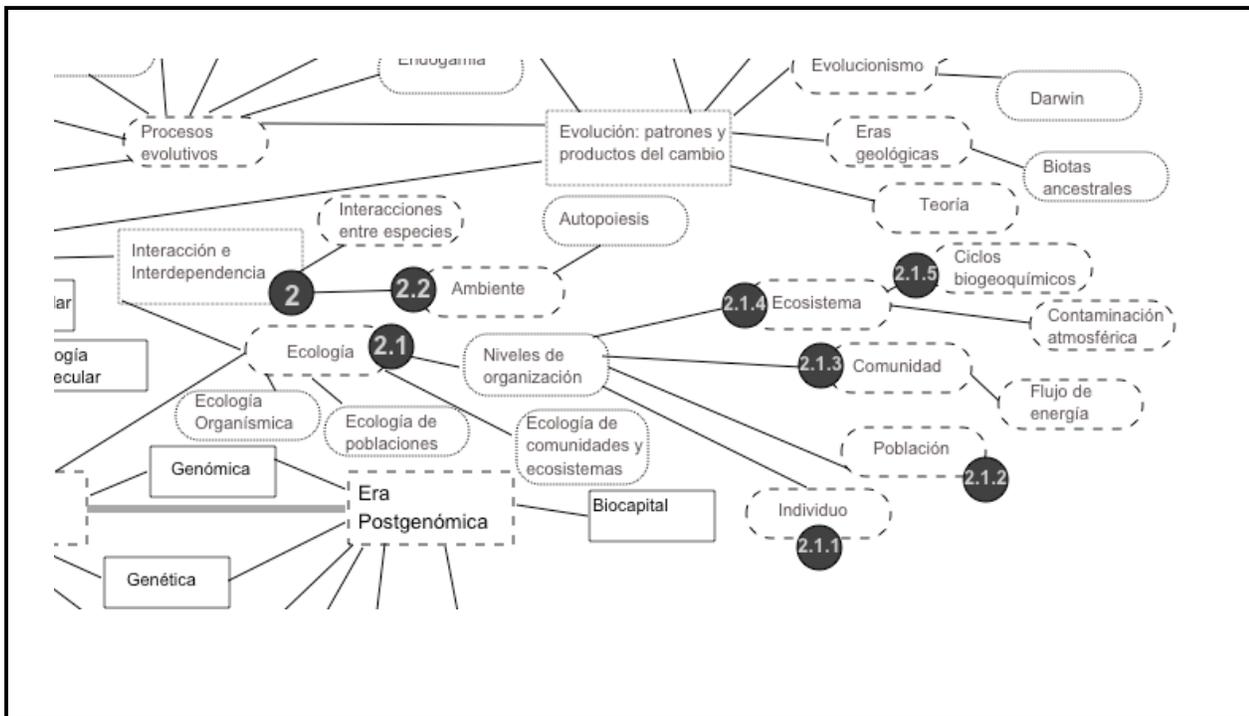


Figura 5. Secuencia didáctica de la unidad "Interacción e Interdependencia"

4.3.3 Unidad didáctica III. Energía, materia y organización

En esta unidad didáctica se listan los niveles de organización en los seres vivos y los principales procesos metabólicos. Dentro de las actividades que se desarrollaron durante el curso, se buscó vincular conceptos como fotosíntesis y respiración con los objetivos de la investigación biológica a partir del documento "Una nueva biología para el siglo XXI".

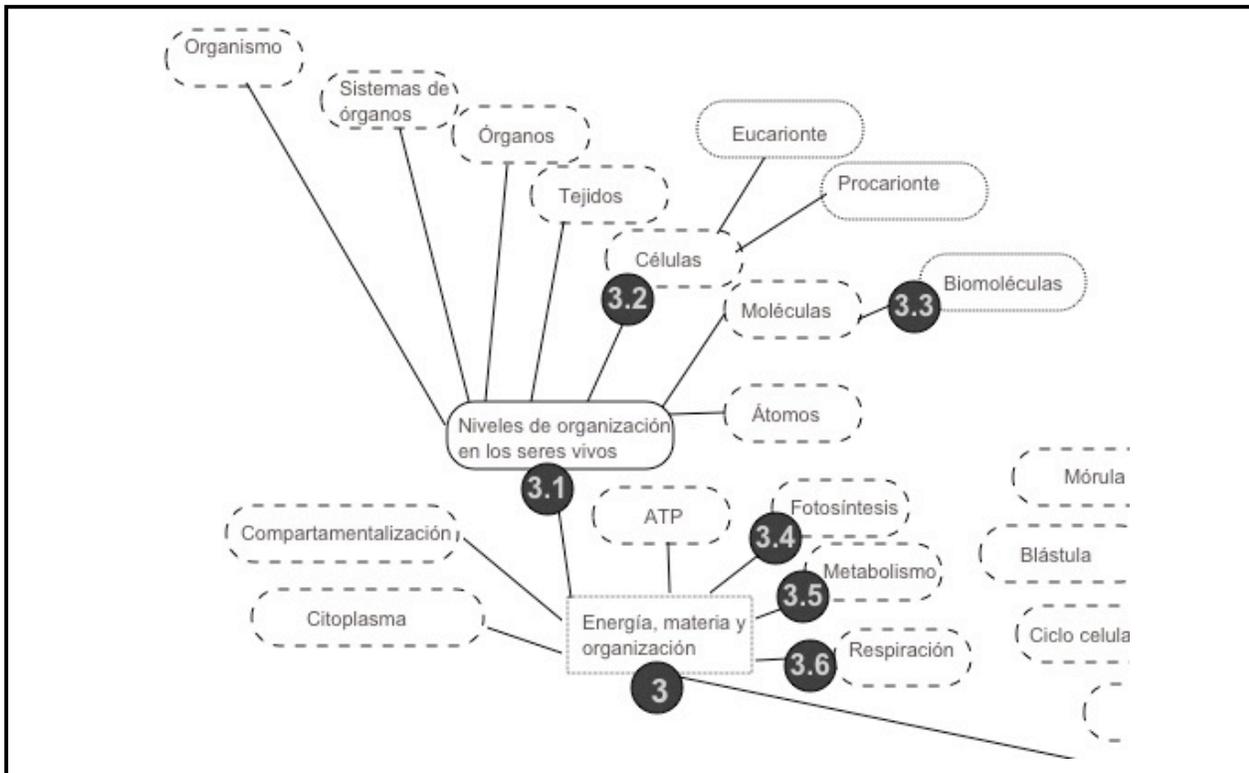


Figura 6. Secuencia didáctica de la unidad 3. "Energía, materia y organización"

Objetivo general

- Explicar la importancia del flujo de materia y energía en los seres vivos.

Objetivos particulares

- Explicar el principio unificador energía, materia y organización
- Listar los niveles de organización en los seres vivos.
- Explicar las similitudes entre la fotosíntesis y la respiración
- Definir metabolismo
- Describir la estructura de los ácidos nucleicos.

4.3.4 Unidad didáctica IV. Continuidad genética y reproducción

Para el desarrollo de esta unidad didáctica se utilizaron diferentes recursos del sitio “*Learning Genetics*” elaborado por la Universidad de Utah en de los Estados Unidos. Los recursos se emplearon para abordar el tipo de investigación que se realiza actualmente en el área de la genética. Y para abordar el elemento CTS en la investigación biológica.

Objetivo general

- Comprender la importancia de las investigaciones que se realizan actualmente en el área de la genética y su vínculo con algunos problemas sociales

Objetivos particulares

- Explicar el principio de continuidad genética y reproducción
- Conocer los postulados y la ley de segregación de Mendel
- Proponer un modelo para representar el dogma central de la biología
- Describir qué es el genoma
- Listar los diferentes tipos de reproducción asexual.
- Explicar la importancia de la recombinación en la reproducción sexual

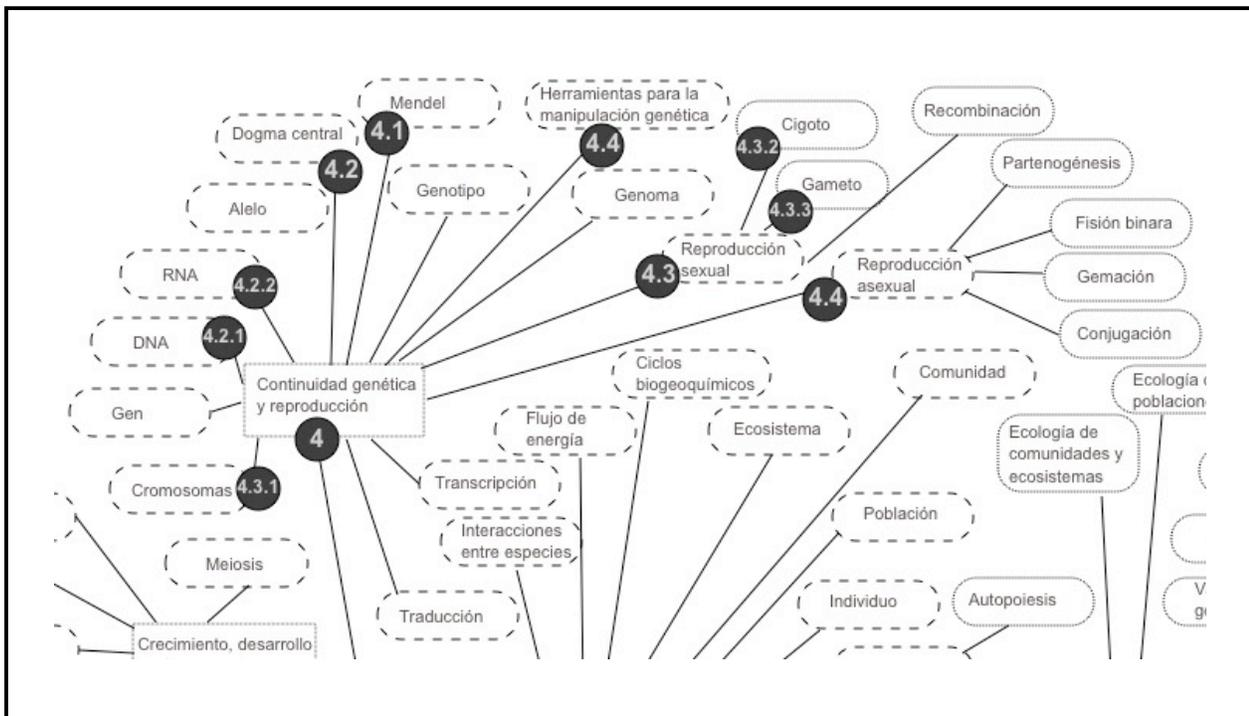


Figura 7. Secuencia didáctica de la unidad 4. "Continuidad genética y reproducción"

4.3.5 Unidad Didáctica V. Crecimiento, desarrollo y diferenciación

En esta unidad didáctica se utilizó como recurso principal un video para explicar los diferentes estadios del desarrollo y los conceptos relacionados con el ciclo celular. Para reforzar algunos de los conceptos abordados en la unidad IV, se añadió un presentación explicando las generalidades de los genes *homeobox*.

Objetivo general

- Explicar algunos de los elementos involucrados en el desarrollo y crecimiento de los animales

Objetivos particulares

- Explicar el principio de crecimiento, desarrollo y diferenciación
- Conocer cuál es la diferencia entre la mitosis y meiosis
- Conocer las diferentes etapas en el desarrollo de un anfibio
- Listar los estadios del desarrollo que se presentan después de la fecundación

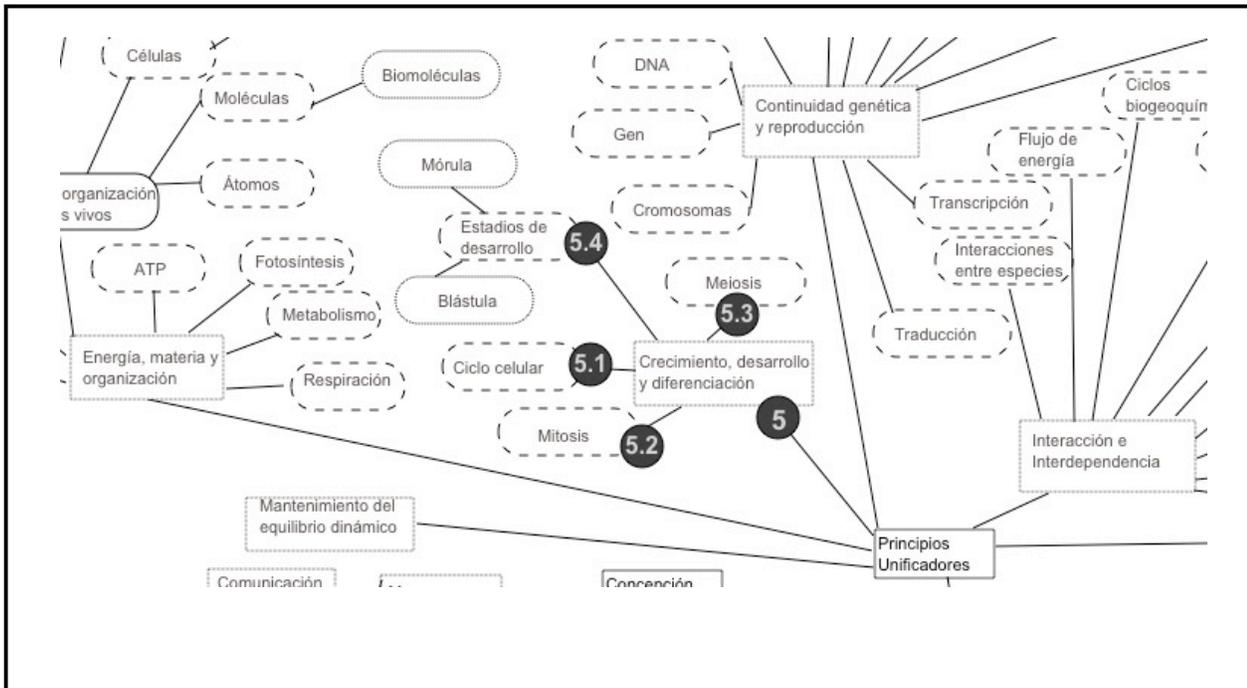


Figura 8. Secuencia didáctica de la unidad 5. "Crecimiento, desarrollo y diferenciación"

4.3.6 Unidad didáctica VI. Evolución, patrones y productos del cambio

Para el desarrollo de esta unidad se hizo énfasis en la importancia histórica del principio unificador "evolución" en la historia de la biología. En la elaboración de la secuencia didáctica se utilizaron dos recursos digitales generados por la Universidad de Utah y un folleto desarrollado en el Laboratorio de Historia y Filosofía de la Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Objetivo general

- Comprender la importancia de la teoría evolutiva para explicar la continuidad de la vida en el planeta

Objetivos particulares

- Conocer las evidencias que sustentan el proceso evolutivo
- Explicar cuál es la diferencia entre un hecho y una teoría
- Conocer la importancia de la contribución de Darwin y de Wallace
- Explicar la importancia de la variación en las poblaciones

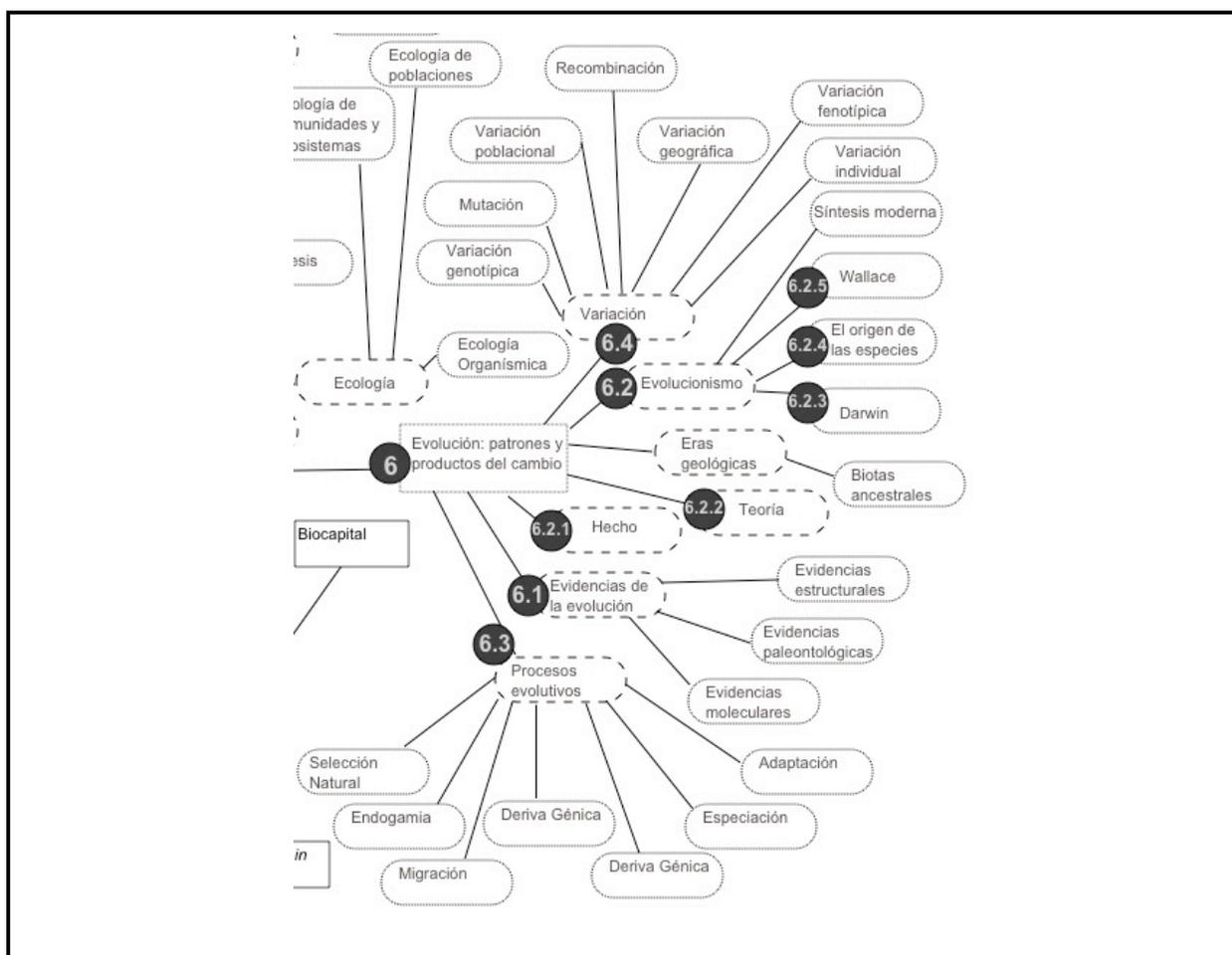


Figura 9. Secuencia didáctica de la unidad VI. "Evolución"

4.3.7 Unidad Didáctica VII. Mantenimiento del equilibrio dinámico

Para el desarrollo de esta unidad didáctica se partió del objeto de estudio de la Cronobiología, y se ejemplificaron diferentes mecanismo de distintas especies para mantener diferentes aspectos fisiológicos constantes. Se utilizó una presentación como recurso didáctico.

Objetivo general

- Explicar en qué consiste el principio unificador sobre el equilibrio dinámico

Objetivos particulares

- Conocer en qué consiste el fenómeno de la homeostasis

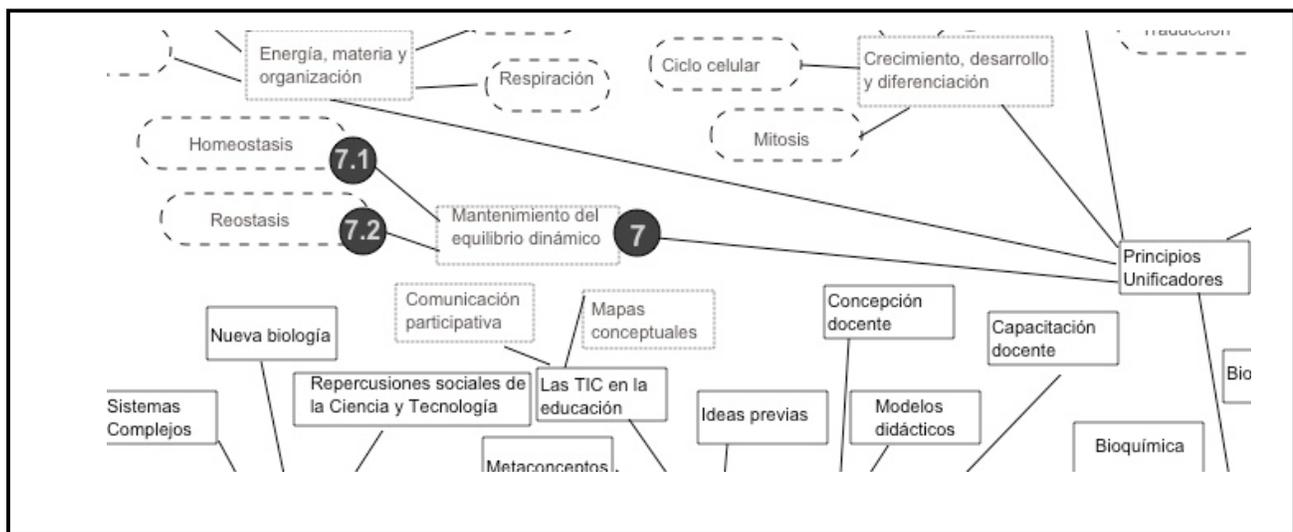


Figura 10. Secuencia didáctica de la unidad VII. "Mantenimiento del equilibrio dinámico"

4.4 Recursos de la propuesta didáctica

Como se mencionó anteriormente, la propuesta didáctica que se generó se basó en una técnica de diversificación de recursos. En total se definieron seis tipos diferentes de recursos que se integraron en el sitio web “*Laboratorio Interactivo de Biología*”, estos son: a) actividades interactivas, b) mapas conceptuales, c) foros, d) prácticas, e) videos y f) *podcast*. Todos los recursos o vínculos se pueden consultar a través de la dirección (<http://www.ludoviskos.com/drupal/>), o en el disco compacto que se incluye en esta tesis.

El sitio web, así como los foros y mapas conceptuales pudieron ser evaluados de forma cuantitativa. Los indicadores en la base de datos mostraron una participación baja para el sitio web con un promedio de 0.45 visitas por día en las seis semanas que duró el curso, un índice de descarga de 0.2 descargas/grupo del programa *CMAP Tools* y un total de 0.7 participaciones por tema en los foros. Las prácticas, los videos y *podcast* fueron en general bien recibidos por los alumnos quienes mostraron interés y participaron de forma activa en las actividades que involucraban estos recursos.

En el cuadro que se encuentra a continuación se muestra el recurso, una breve descripción, el tipo de evaluación y el indicador obtenido en cada caso.

Cuadro 5. Recursos didácticos empleados en la propuesta

Recurso	Descripción	Tipo de evaluación	Indicador
Sitio web: <i>Laboratorio Interactivo de Biología</i>	Sitio elaborado el sistema de gestión de contenidos modular “Drupal”. Permite almacenar contenidos en una base de datos y editarlos en un entorno Web.	Cuantitativa: Visitas al día	0.45 visitas/día
Mapas conceptuales	Programa <i>CMAP Tools</i> elaborado por el Institute for Human and Machine Cognition. Permite generar mapas conceptuales y vincularlos con imágenes, videos o direcciones electrónicas. Los mapas se almacenan en los servidores del proyecto.	Cuantitativa: total de descargas del programa <i>CMAP Tools</i> en el periodo del curso	0.1 descargas/grupo
Foros	Se generaron tres foros de discusión sobre los temas: “¿Qué es la ciencia”, “Genoma Humano” y “Evolución”.	Cuantitativa: total de participaciones por tema	0.7 participaciones/tema
Prácticas	Se elaboraron 15 prácticas para reforzar los	Cualitativa	No aplica

	contenidos del curso.		
Videos	Se seleccionaron videos del sitio <i>Cosmeo</i> , auspiciado por la cadena de televisión educativa <i>Discovery Channel</i> .	Cualitativa	No aplica
Actividades Interactivas	Software educativo generado por la Universidad de Utah a través del sitio <i>Learning Genetics</i> .	Cualitativa	No aplica

4.5 Evaluación de la propuesta didáctica en grupo con intervención y grupo control

4.5.1 Análisis estadístico

Los resultados de la aplicación del instrumento de evaluación inicial y final entre los grupos con intervención y control. Muestran, con un valor del $\alpha=0.05$ que existen diferencias significativas antes y después de la implementación de la propuesta didáctica.

Tabla 1. Estadísticos de grupo

	N	Media	Desviación tıp.	Error tip. de la media
Evaluación inicial grupo con intervención	30	0.32600	0.14409	0.01900
Evaluación inicial grupo control	30	0.31750	0.10790	0.01970
Evaluación final grupo con intervención	30	0.50916	0.10411	0.01900
Evaluación final grupo control	30	0.43916	0.12503	0.02282

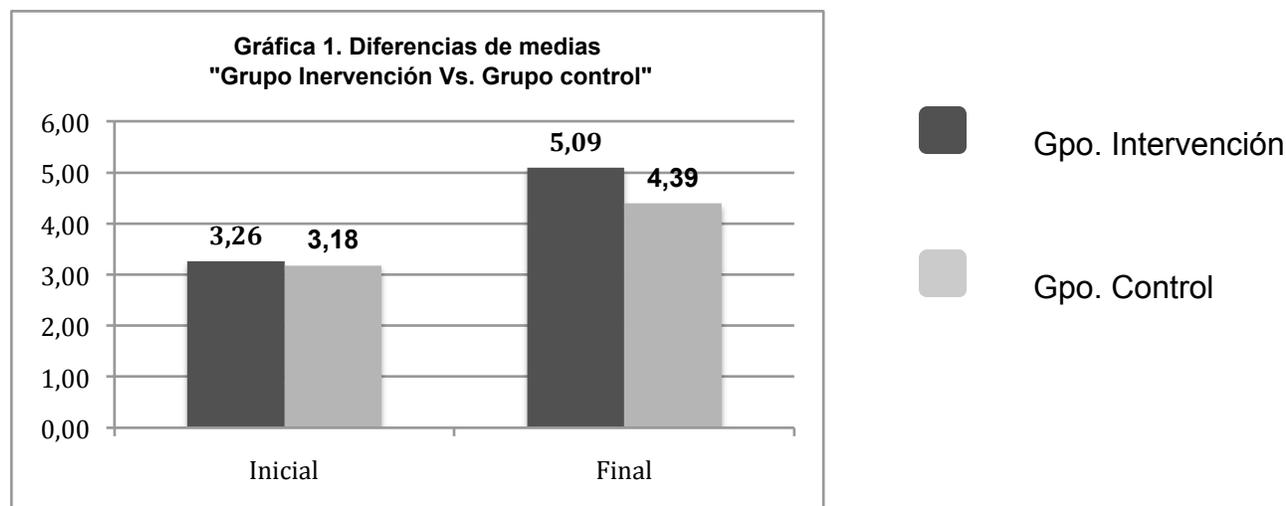


Tabla 2. Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia		
								Inferior	Superior
Inicial	0.109	0.742	0.91	58	0.928	0.00250	0.02737	-0.05229	0.57295
Final	1.148	0.288	2.356	58	0.022	0.07000	0.02970	0.01053	0.12946

4.5.2 Resultados de los cuestionarios de entrada y salida en las diferentes unidades didácticas.

UNIDAD DIDÁCTICA I. BIOLOGÍA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

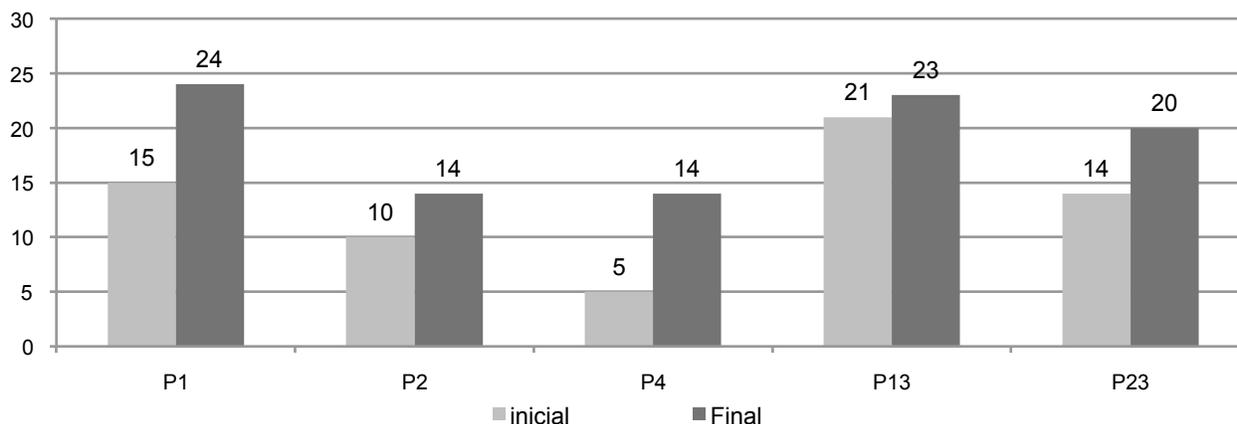
En el grupo con intervención, los resultados de la evaluación de la primera unidad didáctica mostraron una diferencia de 15.5% en el total de aciertos entre las evaluaciones inicial y final. En el grupo control la diferencia fue del 8.3%.

Las preguntas 4 y 23, relacionadas con las características distintivas de los seres vivos y los principios unificadores de la biología, respectivamente, fueron las que mostraron una mayor diferencia en las evaluaciones finales con una diferencia del orden del 50% en el total aciertos obtenidos.

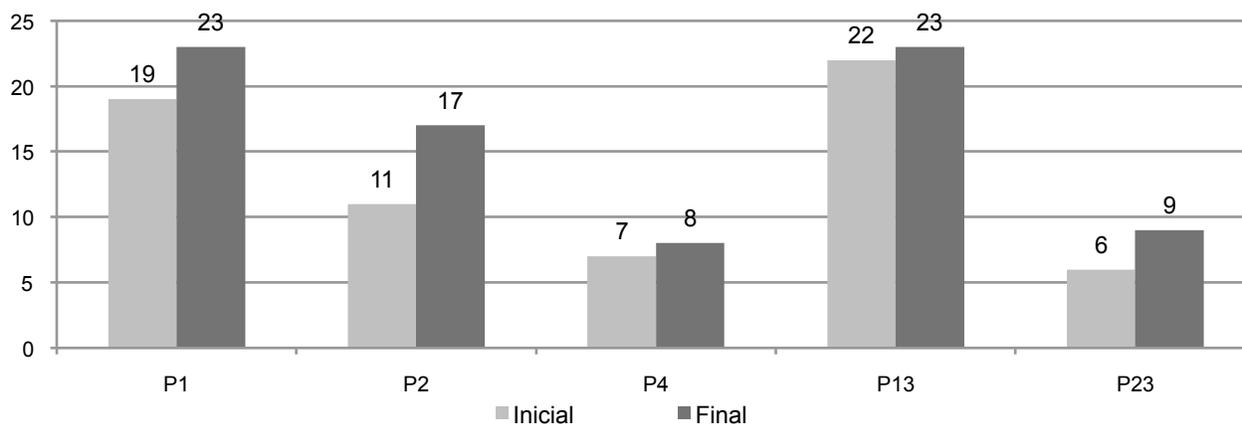
Reactivos (1, 2, 4, 13 y 23)

1. A la serie de procedimientos empleados por los científicos para validar sus investigaciones, se les conoce como: (c)
 - a) métodos hipotéticos b) métodos experimentales c) métodos científicos d) métodos éticos e) métodos teóricos
2. Si los datos de muchos experimentos apoyan la hipótesis de un investigador, ¿cuál es el siguiente paso en la investigación científica? (c)
 - a) se extraen conclusiones y se publican los resultados b) se realizan nuevos experimentos c) se establece una teoría como explicación tentativa d) se revisa la hipótesis inicial e) se formula una hipótesis general
- 4) Característica distintiva de los seres vivos que permite a una planta crecer en dirección a una fuente de luz: (d)
 - a) homeostasis b) evolución c) adaptación d) respuesta a estímulos e) fotosíntesis
- 13) Proceso único de los seres vivos que explica el desarrollo de los organismos a partir de formas ancestrales por la acumulación de cambios genéticos en muchas generaciones: (a)
 - a) evolución b) variación c) transformismo d) herencia e) mutación
- 23) Es considerado el nivel de organización básico de los seres vivos: (b)
 - a) organismo b) célula c) molécula d) población e) átomo

Gráfica 2. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 1. Gpo. con intervención



Gráfica 3. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 1. Gpo. Control



UNIDAD DIDÁCTICA II. INTERACCIÓN E INTERDEPENDENCIA

En el grupo con intervención, los resultados de la evaluación de la segunda unidad didáctica mostraron una diferencia de 11.7% en el total de aciertos entre las evaluaciones inicial y final. En el grupo control la diferencia fue del 4.4%.

La pregunta 21 relacionada con la definición de un ecosistema fue la que mostró una mayor diferencia entre el grupo con intervención y el grupo control, con una diferencia en el orden del 50%.

Reactivos (16, 18, 20, 21 y 22)

16. Al estudio científico de las interacciones entre los organismos y sus ambientes se le conoce como (c)

a) historia natural b) un nicho c) ecología d) ecosistema e) hábitat

18. Las redes alimenticias son modelos más realistas que las cadenas alimenticias debido a que las redes alimenticias describen: (b)

a) un ecosistema b) más interacciones entre organismos c) factores abióticos d) comunidades e) ninguna de las anteriores

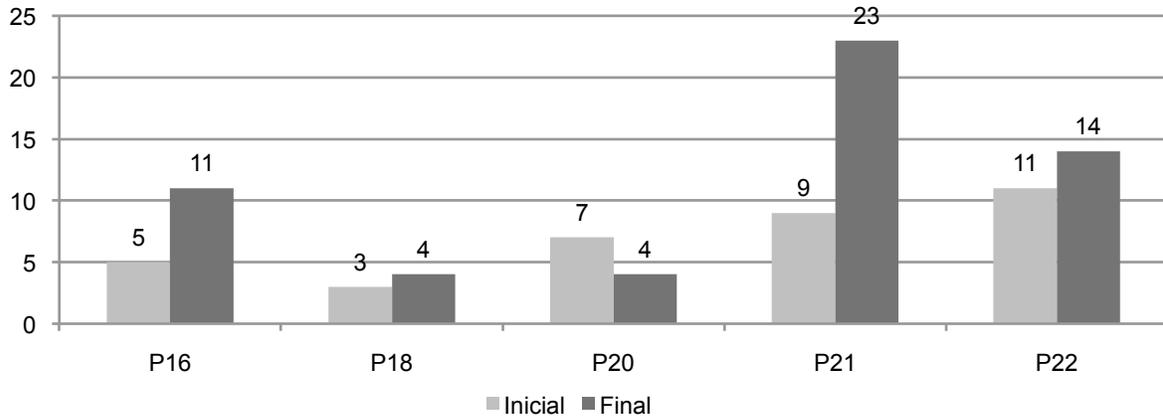
20. En qué ciclo biogeoquímico se considera a los rayos y la actividad de las bacterias: (c)

a) ciclo del agua b) ciclo del fósforo c) ciclo del nitrógeno d) ciclo del carbono e) ciclo del calcio

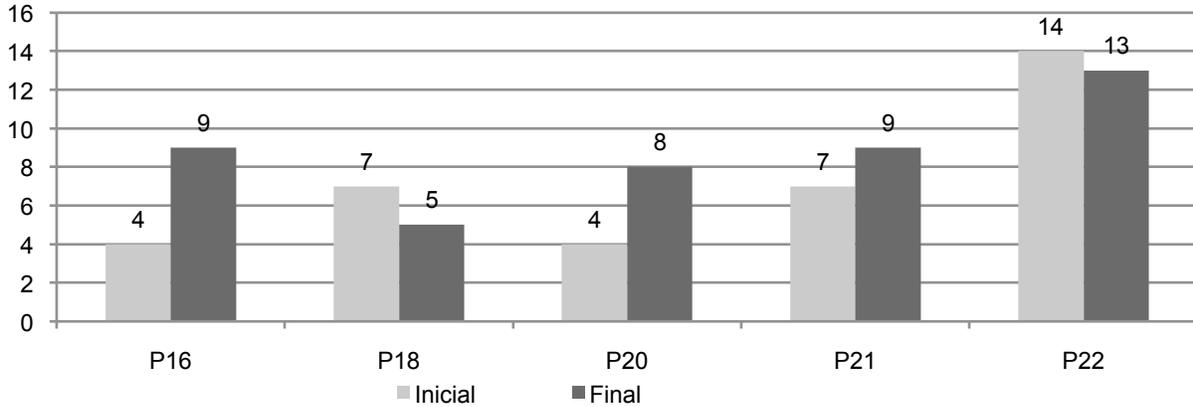
21) ¿Qué enunciado describe mejor un ecosistema? (d)

a) una población más su hábitat b) el hábitat de los seres vivos c) el entorno de los organismos d) interacción de una comunidad y su ambiente físico e) conjunto de factores que interactúan con un ser vivo
 22) El bioma que podría estar en mayor riesgo de desaparecer por la actividad de los seres humanos es: (c)
 a) desierto b) taiga c) bosque tropical lluvioso d) sabana e) arrecife de coral

Gráfica 4. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 2. Gpo. con intervención



Gráfica 5. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 2. Gpo. Control



UNIDAD DIDÁCTICA III. ENERGÍA, MATERIA Y ORGANIZACIÓN

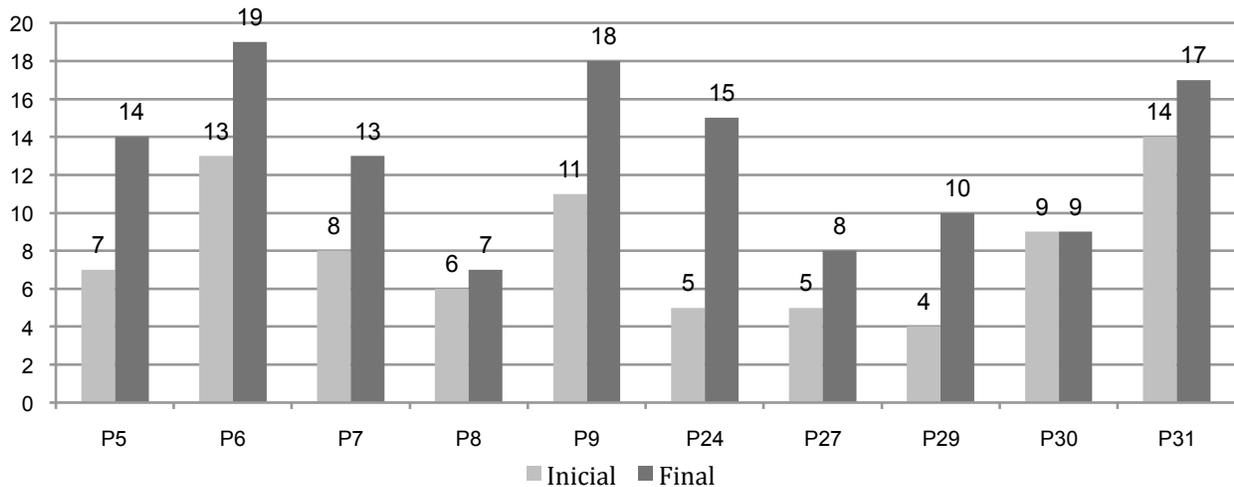
En el grupo con intervención, los resultados de la evaluación de la tercera unidad didáctica mostraron una diferencia de 13.3% en el total de aciertos entre las evaluaciones inicial y final. En el grupo control la diferencia fue del 6.9%.

Reactivos (5, 6, 7, 8, 9, 24, 27, 29, 30, 31)

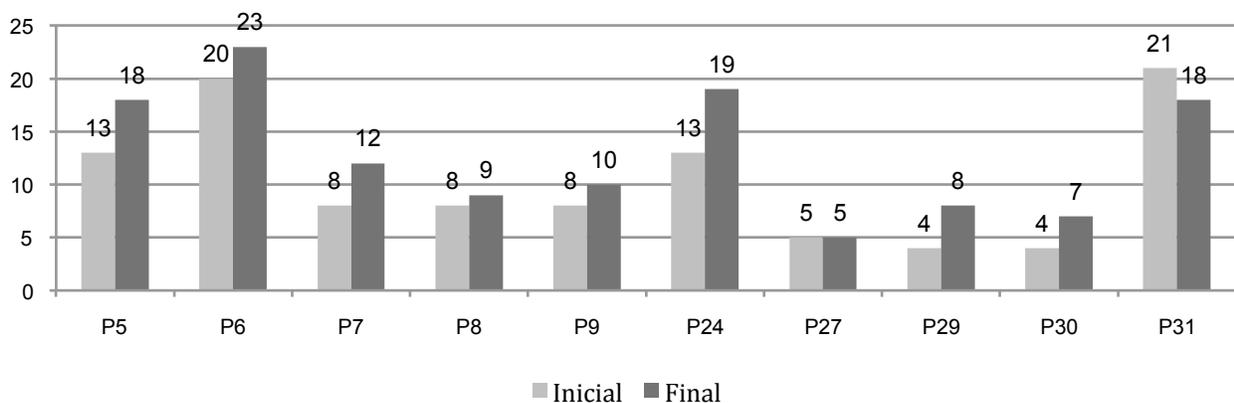
5. Elementos que representan más del 95% del peso en los seres vivos (c)

- a) S, C, Ca y O b) C, N, Na, y P c) N, H, C y O d) C, H, P y Ca e) C, K, H y Li
6. ¿Cuál de estos NO es un elemento? (e)
a) sodio b) hidrógeno c) cloro d) carbono e) agua
7. Las principales biomoléculas presentes en los seres vivos son: (c)
a) sales, minerales, grasas, vitaminas b) vitaminas, proteínas, calcio, ácidos nucleicos c) proteínas, lípidos, carbohidratos, ácidos nucleicos d) proteínas, carbohidratos, fósforo, minerales e) vitaminas, minerales, agua, proteínas
8. Los polisacáridos están formados por subunidades de: (d)
a) aminoácidos b) disacáridos c) nucleótidos d) monosacáridos e) ácidos grasos
9. ¿Que tipo de lípido forma parte importante de las membranas celulares? (a)
a) fosfolípidos b) colesterol c) triglicéridos d) esteroides e) ácidos grasos
24. ¿Quién les dio su nombre a las células? (a)
a) Hooke b) Schwann c) Schleiden d) Leeuwenhoek e) Virchow
27. La _____ forma el límite externo de una célula animal. (a)
a) membrana plasmática b) pared celular c) membrana nuclear d) citoesqueleto e) envoltura nuclear
29. ¿Cuáles son los productos de la fotosíntesis? (a)
a) glucosa y oxígeno b) dióxido de carbono y agua c) glucosa y dióxido de carbono d) agua y oxígeno e) oxígeno y dióxido de carbono
30. ¿Cuál es la molécula, que no se puede almacenar, utilizada directamente por la célula para conseguir energía? (d)
a) ADN b) agua c) glucosa d) almidón d) ATP
31. El/la _____ es el proceso por el cual los autótrofos capturan energía lumínica para fabricar carbohidratos. (a)
a) fotosíntesis b) glucólisis c) el ciclo de Krebs d) la respiración anaeróbica e) respiración celular

Gráfica 6. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 3. Gpo. con intervención



Gráfica 7. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 3. Gpo. Control



UNIDAD DIDÁCTICA IV. CONTINUIDAD GENÉTICA Y REPRODUCCIÓN

En el grupo con intervención, los resultados de la evaluación de la cuarta unidad didáctica mostraron una diferencia de 15.5% en el total de aciertos entre las evaluaciones inicial y final. En el grupo control la diferencia fue del 18.2%.

Reactivos (10, 11, 26, 28, 35, 38 y 40)

10. Las proteínas son largas cadenas o polímeros de: (b)

a) monosacáridos b) aminoácidos c) ácidos grasos d) nucleótidos e) azúcares

11. Ácido nucleico que actúa como mensajero, llevando la información del núcleo hacia el citoplasma donde se traduce (a)

a) ARN b) ATP c) ADN d) AMP e) ADP

26. ¿Cuáles de los siguientes pares de términos no están relacionados?(c)

a) núcleo—DNA b) cloroplastos—clorofila c) flagelos—cromatina d) pared celular—celulosa e) ribosomas—proteínas

28. El armado de las proteínas en una célula tiene lugar en _____. (d)

a) el núcleo b) las mitocondrias c) el nucleolo d) los ribosomas e) el citoplasma

35. La reproducción sexual es ventajosa desde el punto de vista evolutivo por la: (a)

a) recombinación de genes b) reducción de cromosomas c) mutación de cromosomas d) formación de cromosomas e) pérdida de genes

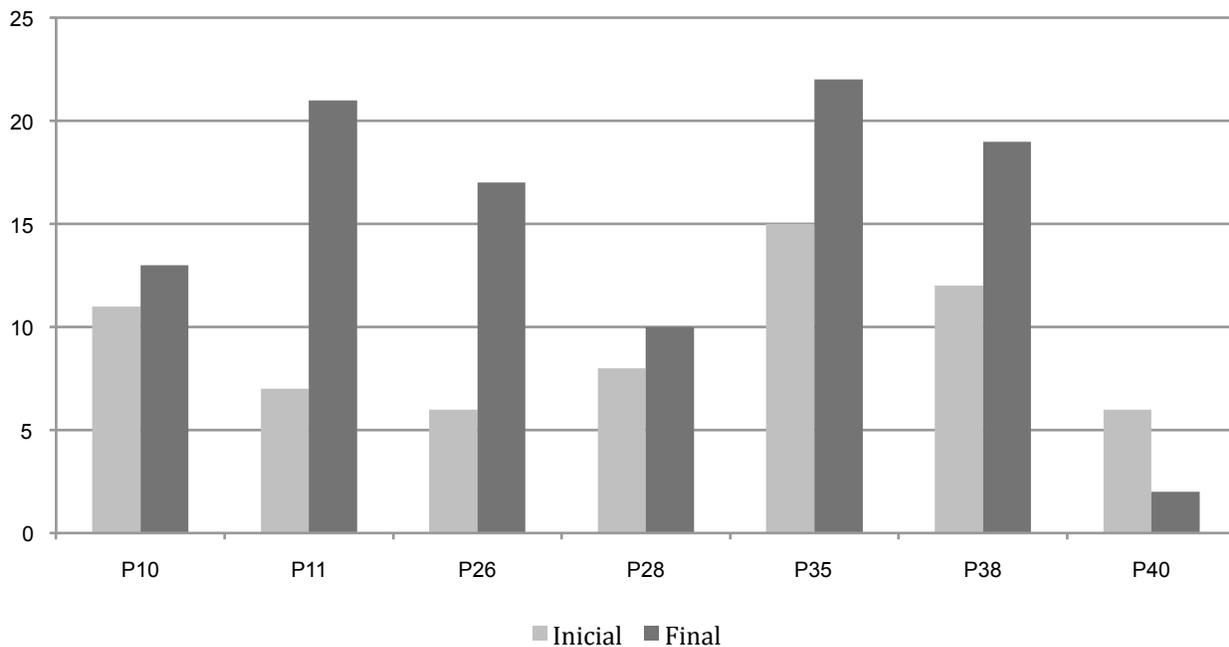
38. Es considerado el padre de la genética por sus descubrimientos realizando experimentos con chícharos: (c)

a) Darwin b) Wallace c) Mendel d) Watson e) Crick

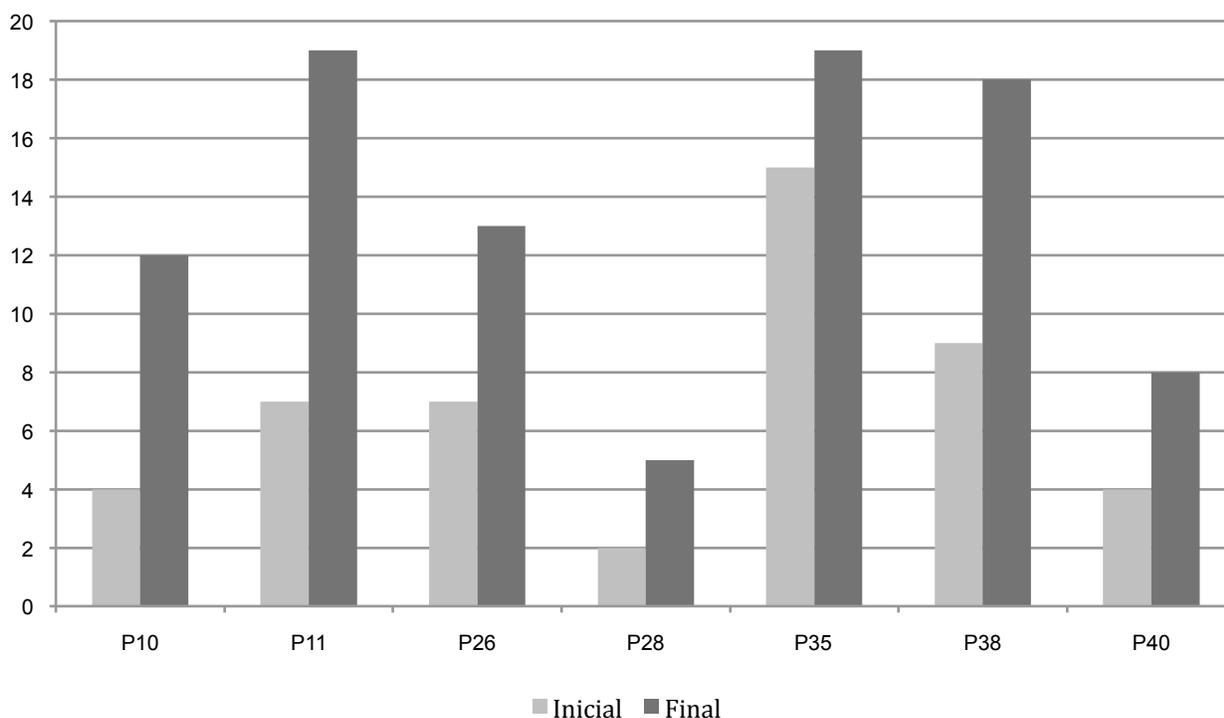
40. Se dice que un organismo con dos alelos idénticos para un locus específico es _____ para ese locus; un organismo con dos alelos diferentes para un locus específico es _____ para ese locus (c)

a) dominante - recesivo b) recesivo - dominante c) homocigoto - heterocigoto d) heterocigoto - homocigoto e) ninguna de las anteriores

Gráfica 8. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 4. Gpo. con intervención



Gráfica 9. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 4. Gpo. Control



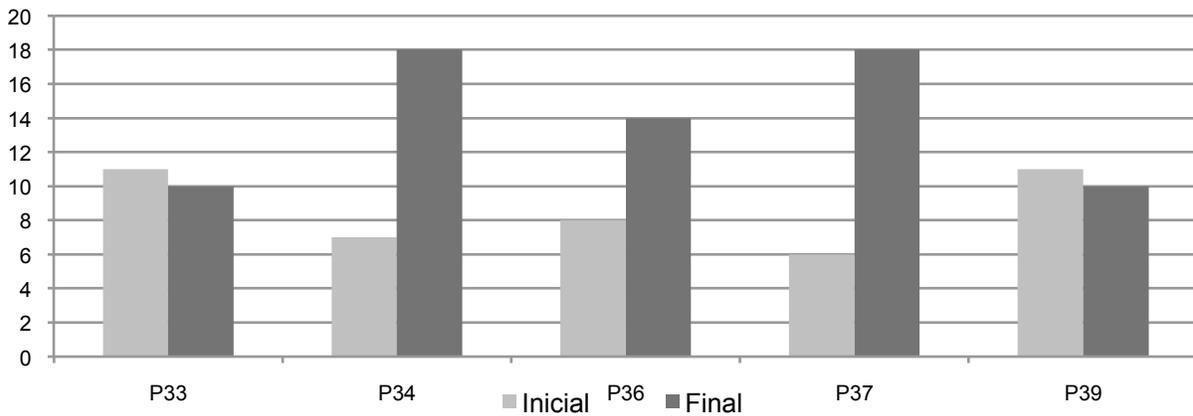
UNIDAD DIDÁCTICA V. CRECIMIENTO, DESARROLLO Y DIFERENCIACIÓN

En el grupo con intervención, los resultados de la evaluación de la quinta unidad didáctica mostraron una diferencia de 15% en el total de aciertos entre las evaluaciones inicial y final. En el grupo control la diferencia fue del 5%.

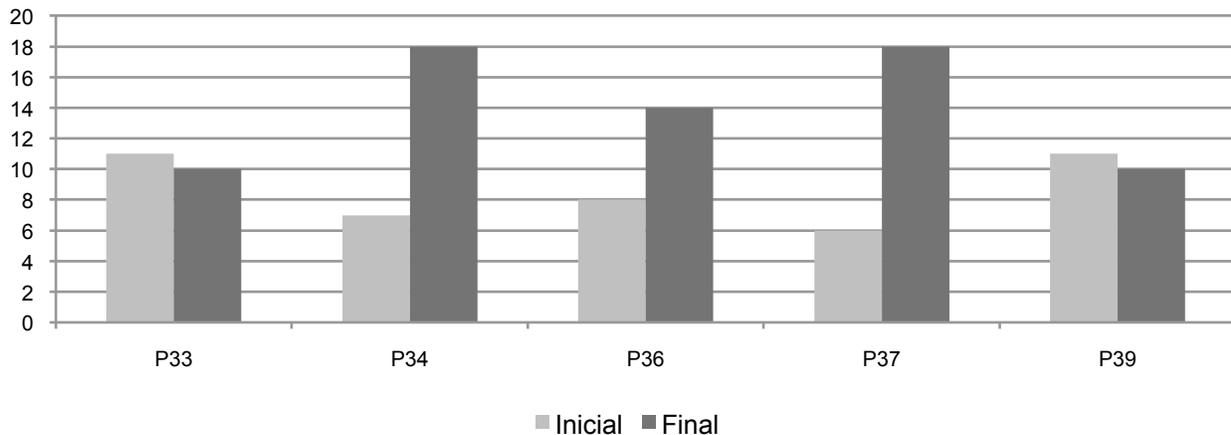
Reactivos (33,34,36, 37 y 39)

33. El/la _____ es la secuencia de crecimiento y división de una célula (c)
a) centrómero b) teoría celular c) ciclo celular d) relación entre volumen y área de superficie e) mitosis
34. Los cromosomas están hechos de _____. (d)
a) citoplasma b) ATP c) RNA d) DNA e) proteínas
36. Proceso de división celular que produce todas las células del cuerpo excepto los gametos (d)
a) Gemación b) Fisión c) Meiosis d) Mitosis e) Esporulación
37. Proceso de la división celular que produce gametos y es muy importante en la recombinación génica. (c)
a) Gemación b) Fisión c) Meiosis d) Mitosis e) Esporulación
39. La constitución genética de un organismo expresada en símbolos es su: (d)
a) fenotipo b) cariotipo c) genética d) genotipo e) gen

Gráfica 10. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 5. Gpo. con intervención



Gráfica 11. Frecuencia de aciertos en la unidad didáctica 5. Gpo. Control



UNIDAD DIDÁCTICA VI. EVOLUCIÓN

En el grupo con intervención, los resultados de la evaluación de la sexta unidad didáctica mostraron una diferencia de 18.5% en el total de aciertos entre las evaluaciones inicial y final. En el grupo control la diferencia fue del 13.9%.

Reactivos (12, 14, 15, 17, 19, 25)

12. Dominio en el que se incluye a los seres humanos (b)

a) procarionte b) eucarionte c) Protista d) Animalia e) Bacteria

14. Es el principal mecanismo de la evolución propuesto por Darwin: (c)

a) Mutaciones b) Reproducción sexual. c) Selección natural d) Herencia de caracteres adquiridos

15. ¿Cuál de las siguientes NO es una evidencia de la evolución? (a)

a) cambio climático b) evidencias moleculares c) similitudes anatómicas d) biodiversidad

17. Un grupo de organismos de una especie que puede encontrarse en un área en un momento dado es un /una (a)

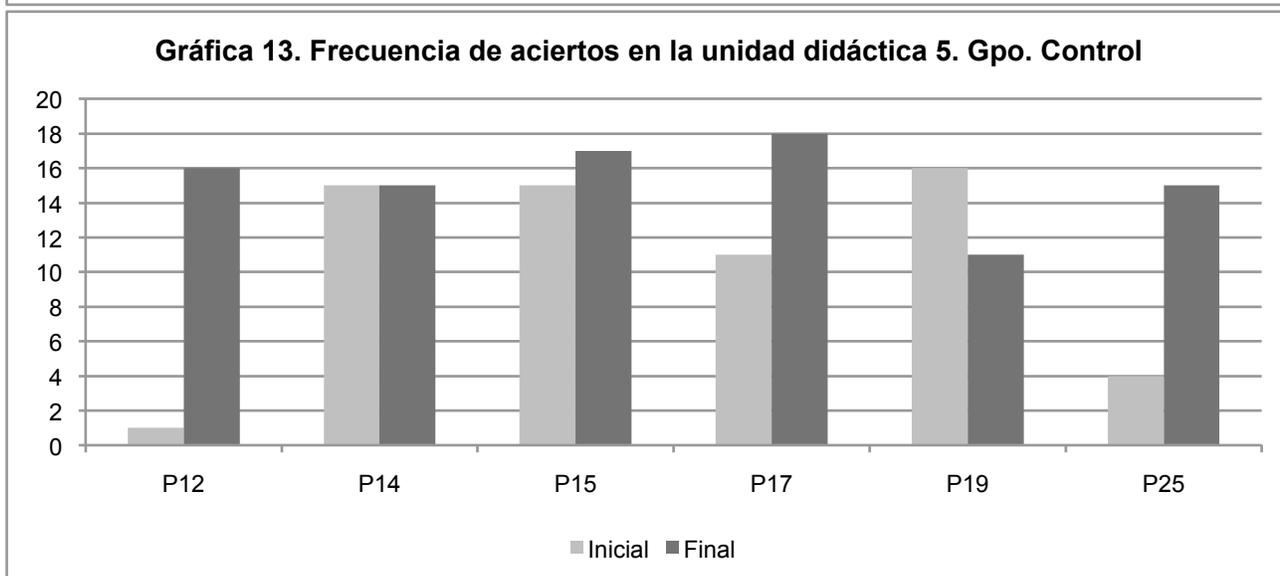
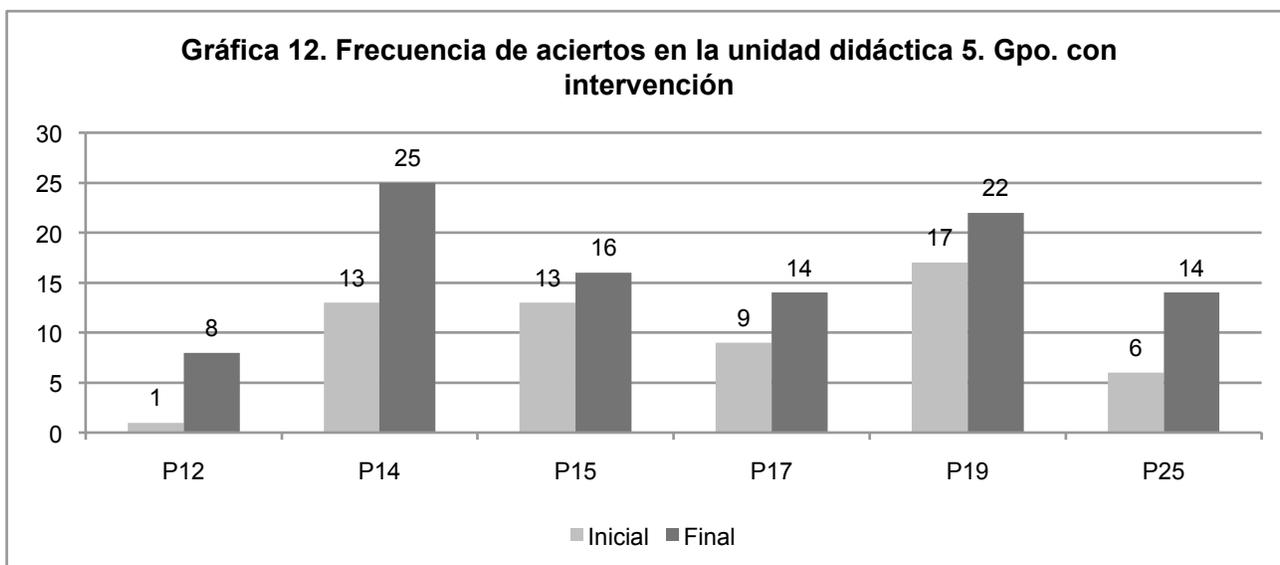
a) población b) comunidad c) ecosistema d) nivel trófico e) especie

19. Son organismos que se nutren produciendo su propio alimento (c)

a) Parásitos b) Saprobios c) Autótrofos d) Heterótrofos e) Procariontes

25. Un/una _____ es un organismo con una célula que carece de organelos con membrana. (b)

a) eucarionte b) procarionte c) virus d) protista e) hongo



UNIDAD DIDÁCTICA VII. MANTENIMIENTO DEL EQUILIBRIO DINÁMICO

En el grupo con intervención, los resultados de la evaluación de la séptima unidad didáctica mostraron una diferencia de 13%. En el grupo control la diferencia fue del 7%.

Reactivos (3)

3. La energía es importante para los organismos porque :

- a) les permite regular su ambiente interno b) los seres vivos se adaptan a sus ambientes c) les brinda el calor necesario para mantenerse calientes d) le da potencia a los procesos vivos e) los seres vivos necesitan del sol

4.5.3 Resultados de los mapas conceptuales

Los resultados globales del análisis de los mapas conceptuales que se incluyeron en el instrumento de evaluación inicial y final, muestra una mejora con respecto a los indicadores

utilizados. Esto indica que hubo efectos positivos en el aprendizaje por parte de los alumnos. Es importante mencionar que la existencia de un mayor número de conceptos utilizados y la disminución de errores con respecto al mapa elaborado en el instrumento inicial no se debió como originalmente se pensaba al empleo del programa propuesto (Cmaptools) para la elaboración de mapas conceptuales, debido a que únicamente tres alumnos instalaron y utilizaron el programa a lo largo del curso.

	Muestra de alumnos: n=30	
	Mejora	No mejora
Número de conceptos utilizados	23	10
Preposiciones erróneas	26	7
Jerarquización del mapa	28	5

CONCLUSIONES

En la actualidad las ciencias biológicas se encuentran en un momento de desarrollo similar al que atravesaron las ciencias físicas durante el siglo XX. La integración de conceptos y metodologías de distintas disciplinas científicas, así como la importancia que ha cobrado el enfoque epistemológico y metodológico de las ciencias de la complejidad, han planteado una gran interrogante sobre el curso que seguirá la investigación biológica y la forma como se tendrán que preparar los biólogos de las próximas generaciones.

La propuesta didáctica que se presentó integró componentes históricos al abordar el desarrollo de la biología en el siglo XX y principios del siglo XXI, y la caracterización de procesos como la tercera revolución industrial y la emergencia de la sociedad de la información. Este marco teórico se utilizó para contar con un eje de referencia sobre el curso de la investigación en esta disciplina, e identificar los elementos más representativos de las nuevas tramas sociales. La información que se recabó se utilizó para complementar los conocimientos fundamentales.

De forma similar el análisis sobre la inclusión del enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) en esta disciplina, permitió identificar los principales retos a los que se enfrentan esta ciencia. Como se plantea en el documento "*Una nueva biología para el siglo XXI*", la investigación biológica de este nuevo siglo deberá ampliar dicho enfoque para atender distintos problemas sociales que son determinantes en la supervivencia de nuestra especie, al mismo tiempo que continúa con la investigación básica en sus diferentes áreas. Este elemento se resaltó en la propuesta didáctica.

En la revisión de la biología como contenido curricular se retomó la propuesta elaborada por el Grupo de Estudios Curriculares de las Ciencias Biológicas de los Estados Unidos. A través de los principios unificadores expuestos en el *Libro de Biología para el Maestro* se desarrollaron los contenidos a revisarse en el curso en el que se evaluó la propuesta.

La revisión de los marcos teóricos que se desarrollaron en esta investigación se plasmó en una estructura conceptual. Esta herramienta analítico-conceptual permitió organizar la investigación a través de cuatro conceptos centrales y diferentes conceptos conectados. A través de este instrumento se pudo generar la secuencia didáctica de la propuesta que se evaluó en el aula. Y desarrollar una herramienta novedosa para

sistematizar una visión actualizada de la biología y establecer un punto de comparación de las estructuras propuestas por distintos docentes.

Como se expuso en esta investigación, el papel de las nuevas tecnologías en el desarrollo de la biología contribuyó en transformar la percepción que se tiene del mundo y la forma como se entiende el fenómeno de la vida. Las TIC representan tramas de artefactos, técnicas, conocimientos y saberes que se articulan con las prácticas sociales, los conocimientos y los sistemas de orientación en interpretación de las personas y los grupos que las utilizan. La integración de las herramientas y los métodos de investigación propias de la tercera revolución industrial, como se ha argumentado en esta tesis, deben ser incluidos en el desarrollo de propuestas de forma que los alumnos comiencen a distinguir los elementos básicos de la metodología con la que se abordan en la actualidad dichos problemas.

Las propuestas para la enseñanza de la biología en la actualidad, que consideran el uso de las TIC, abordan una diversidad de aspectos que van desde el desarrollo de software, la elaboración de páginas web, el uso de gestores de contenidos, hasta la participación de los alumnos en la elaboración de materiales multimedia. Un aspecto clave a considerar en la elaboración de cualquier material que considere el uso de las TIC, tendrá que priorizar la definición del tipo de interacción que pretende y la forma como se evaluará la eficacia de la propuesta.

La propuesta didáctica que se presentó generó una serie de recursos que integran elementos novedosos basados en las TIC. Estos podrían formar parte de un programa de actualización para docentes de la biología, fomentando de esta forma la elaboración de recursos, y logrando una participación directa en la elaboración de éstos por parte de especialistas en la biología, en la didáctica de esta ciencia y de los docentes a cargo. En términos generales, la propuesta pretende contribuir a la comprensión sobre los retos que implica la incorporación del componente tecnológico.

Los conocimientos fundamentales representan los saberes básicos con los que deben contar los alumnos al término del ciclo del bachillerato, para el desarrollo de los contenidos se utilizó el acervo del libro *Conocimientos Fundamentales de Biología*. La propuesta didáctica buscó hacer una contribución sobre los nuevos conocimientos fundamentales con base en el análisis histórico, disciplinario y pedagógico que se desarrollo.

Entre los alcances de la propuesta, esta busca servir como una herramienta que oriente a los docentes para que puedan contar con un punto de partida sobre los cambios

que están ocurriendo en la disciplina, las herramientas características de la nueva etapa de desarrollo en la que se encuentra, y los nuevos recursos didácticos que se emplean para su enseñanza.

Los diferentes recursos que se propusieron mostraron en general buena aceptación entre los alumnos. La evaluación de la efectividad de los mismos mostró que en el caso de herramientas como los foros el índice de participación fue muy bajo. Por otro lado los recursos digitales (videos, actividades interactivas), causaron una buena impresión entre los alumnos quienes se mostraron entusiasmados con el resto de las actividades que se incluían en los diferentes sitios. La baja participación en el total de visitas al sitio web pudo deberse a factores socioeconómicos, ya que menos del 30% de los alumnos contaban con equipos de cómputo en su casa conectados a internet.

De los recursos impresos (prácticas), el aspecto que llamó su atención en mayor medida fueron las imágenes obtenidas del *Libro para Colorear de Biología*. Estos fueron una herramienta clave para explicar conceptos.

El recurso que entusiasmó en mayor medida a los alumnos fue la elaboración de los *podcast*. Estas herramientas representan una posibilidad muy importante para generar nuevas vías de comunicación de la ciencia y promover la posibilidad de una nueva didáctica. Cabe mencionar que este campo constituye un área que ha sido muy poco explotada y representa una buena oportunidad para integrar el uso de las tic en el aula.

Entre las limitaciones de la propuesta es posible mencionar el tamaño de la muestra, debido a que se contrastó en un grupo que fue asignado para el curso de actualización, y el hecho de que una gran proporción de los recursos digitales están en inglés.

Se observó que en el grupo con intervención los resultados de la evaluación final muestran una mejoría en el aprendizaje con respecto al grupo control. Debido al tamaño y tipo de muestreo de la población no es posible asegurar que la efectividad de la propuesta se debió a la implementación tecnológica. Hay indicios de que más bien puede atribuirse a la interacción didáctica, que parece ser el principal elemento para obtener mejores resultados de aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Díaz, J.A. *et al.* (2001), El Movimiento Ciencia-Tecnología-Sociedad y la Enseñanza de las Ciencias. En *Sala de lectura CTS+I*, véase la siguiente dirección: <http://www.oei.es/salactsi/acevedo13.htm>
- Alvarado, M. (2007) Concepciones de ciencia y la enseñanza de la ciencia, en *Ethos Educativo*, No.3 Mayo-Agosto, México, D.F., 23-45 pp.
- Arocena, R., Sutz, J. (2003): Subdesarrollo e Innovación, Cambridge University Press Editorial, 232 pp.
- Barahona, A. *et al.* (Ed.). (2000) Filosofía e Historia de la Biología, Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., Págs. 204-234
- Board on Life Sciences, (2004) *Seeking security: Pathogens, Open Access, and Genome Data Bases*. National Academy Press, Washington, D.C, 74 pp. Véase la siguiente dirección: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11087&page=R1
- Castells, M. (1999) La era de la información: economía, sociedad y cultura: la sociedad red, Siglo Veintiuno editores, México, D.F., Vol. 1, 565 pp.
- Carretero, M. (1993): *El constructivismo en el aula*, Editorial Edelvives, Zaragoza, pp. 21.
- Cruz, M. (2008) Tesis de doctorado: La Sociedad del Conocimiento y las nuevas tecnologías educativas en la enseñanza-aprendizaje del derecho en la UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. Pag 63-78
- De Chadarevian, S. (2002), *Designs for Life: Molecular biology after World War II*. Cambridge University Press. Cambridge, 423 pp.
- Díaz Gutierrez, M. A. *et al.* (2007) Pisa 2006 en México, INEE, 46 pp.
- Fernández, M. *et al.* (2007) Experiencia en el uso de las TIC en el aula en biología y geología de 3ºESO. Congreso Internacional Escuela y TIC. Facultad de Educación, Universidad Alicante, España.
- Foucault, M. (1966), *Las palabras y las cosas*, Siglo XXI editores, México, D.F., pp. 136-148.
- Fuentes, L. (2005) Software educativo para la enseñanza de la Biología. *Revista de Ciencias Humanas y Sociales v.21 n.47* Maracaibo ago. 2005
- García, L.F (2003). *Las Hélices paralelas: una visión crítica de la era genómica y postgenómica*. Programa Editorial Universidad del Valle, Colombia. 180 pp.
- García, R. (2006) *Sistemas Complejos: Conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Editorial Gedisa, España. 200 pp.
- Garza L. y Morales, M. (2009): La educación básica en México en el 2009, año de la evolución. en *Jornadas Didácticas de Biología Evolutiva*, Facultad de Ciencias UNAM.
- Guillén, F. C. (1997). Algunos aspectos a considerar en la enseñanza de la biología. En Alba, A. *et al.* *Contenidos relevantes de ciencias naturales para la educación básica*. SNTE, México, p. 53-64.
<http://www.inee.edu.mx/BuscadorDocs/detallePub.action;jsessionid=BBBA9657E557AE90B4FA7047E44B0CDE?clave=INEE-200905288>
- Gupta, P. (2009): *Biothecnology and Genomics*, Capital Offset Press, New Delhi, 2-13 pp.
- Heredia, Y. (2010). Incorporación de tecnología educativa en educación básica: dos escenarios escolares en México. Ponencia presentada en el XI Encuentro Internacional Virtual Educa, Santo Domingo, República Dominicana. Disponible en Internet en la

dirección

electrónica:

http://www.ruv.itesm.mx/convenio/catedra/recursos/material/ci_27.pdf

- Jiménez, Luis Felipe *et al.* Conocimientos Fundamentales de Biología. Vol. I. Pearson Educación, México, 2006. Pág. 10-15
- Krugman, P (2002). Introducción a la economía: macroeconomía. Editorial Reverté, Barcelona, 488 pp.
- Ledesma-Mateos, I. (2006) La introducción de los paradigmas de la biología en México y la obra de Alfonso, en *Historia Mexicana*, LII:1 (jul.-sep.), pp. 201-240
- Liguori, L y Noste, M. (2005), *Didáctica de las Ciencias Naturales: Enseñar Ciencias Naturales*. Serie Didácticas. Horno Sapiens Ediciones. Rosario Santa Fe Argentina. Pág 5-7.
- López, M. (2007) Las TIC en la enseñanza de la Biología en educación secundaria: los laboratorios virtuales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 6, N°3, 562-576, Facultad Complutense. Madrid, España*
- Lucas, A. (2000) La nueva sociedad de la información: una perspectiva desde Silicon Valley, Editorial Trotta, Madrid, España. 173 pp.
- Marí, V. (2002) Globalización, Nuevas Tecnologías y Comunicación., Editorial de la Torre, Madrid, España. 167 pp.
- Martínez Rizo, F. (2001) Las políticas educativas mexicanas antes y después de 2001. En *Revista iberoamericana de Educación*, OEI, No. 27, pp. 3-7)
- Martínez, S. y Godfrey, G. (comps.). (2005) Historia, Filosofía y Enseñanza de la Ciencia., UNAM, Instituto de Investigaciones Filosóficas, México, D.F. 480 pp.
- Mayr, E. (1997) *This is biology. The science of the living world*. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge. 327 pp.
- Mayr, E. (2006) Por qué es única la biología: consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica, Editorial Katz, Buenos Aires, 280 pp.
- Merino, N., (2008) La apropiación política de la ciencia: origen y evolución de una nueva tecnocracia. En *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, Buenos Aires, v.4 n.10, pp. 23-45
- National Association for the Advancement of Science (1966), Biology and the future of man, véase la siguiente dirección <http://profiles.nlm.nih.gov/ps/access/BBGNKT.pdf>
- National Research Council (1989), Committee on Research: Opportunities in biology, National Academy Press, Washington, D.C, 450 pp. Véase la siguiente dirección: http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=742&page=R9
- National Research Council (2009), A new biology for the 21st century, National Academy Press, Washington, D.C, 98 pp. Véase la siguiente dirección: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12764&page=R1
- National Research Council (U.S) (2006), *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: Beir VII Phase 2*. National Academics Press, Washington, D.C., 91-92 pp.
- Nuñez-Farfán J y Eguiarte L. (2007), La construcción de la teoría sintética de la evolución. En *La interdisciplina y las grandes teorías del mundo moderno*. UNAM, México, pp. 131-150
- OCDE, (2006) Resultados Pisa en México. <http://www.inee.edu.mx/index.php/proyectos-y-servicios/pisa>
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, (2009), Regions at a Glance. Revisar la siguiente dirección: http://www.oecd.org/document/42/0,3746,en_2649_37429_48338666_1_1_1_37429,00.html

- Palamidessi, M. (comp), 2006. *La escuela de la sociedad de redes. Una introducción a las tecnologías de la informática y la comunicación en la educación* – 1ª ed.- Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 104 pp.
- Paz, V. (1999) Tesis de maestría: Una evaluación de la enseñanza de la biología en la educación primaria. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. Págs. 7-12
- Plutynski, A. The modern synthesis, véase la siguiente dirección (<http://hum.utah.edu/~plutynsk/ModernSynthesis.final.pdf>)
- Porlán, R. (1998) Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias, en *Enseñanza de las ciencias*, No. 16 (1), Pag. 175-185, Sevilla, España.
- Reiss, M. (2006) Desarrollo de un curso de biología contextualizado en el bachillerato: el caso del proyecto *Salter-Nuffield Advanced Biology*. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 24(3), *Universidad de Londres, Reino Unido*. Pag 429-438. Para mayor información consultar: <http://www.nuffieldfoundation.org/salters-nuffield-advanced-biology>
- Río-Sanches, J. (1991): *Aprendizaje de las matemáticas por descubrimiento. Estudio Comparado de dos metodologías*, Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 11-20 pp.
- Secretaría de Educación Pública, (1993) Planes y programas de estudio
- Secretaría de Educación Pública, (2006) Planes y programas de estudio (2006)
- Smocovitis, V. B (1996), “Unifying Biology: The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology”, en *Journal of the History of Biology*, 25, pp. 1-65
- Talanquer, V. (1990) ¿Qué pasa con la educación? *Educación Química Vol. 2*, Facultad de Química, UNAM, México, D.F., pag 92-95
- UNESCO, (1971). *New trends in biology teaching, Vol. III*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura
- Watson, J. (2004): *DNA: The secret of life*. Knopf Doubleday Publishing Group, 464 pp.
- Zhouying, J. (2005): *Global technology change. From Hard Technology to soft technology*. Pekin University Press, Beijing, pp. 24-64.

ANEXOS

- A. I Planeación global del curso
- A. II Carta descriptiva del curso de regularización en biología para alumnos de secundaria
- A. III Descripción de las sesiones del curso de regularización en biología y bibliografía básica
- A. IV Instrumento para la evaluación de los aprendizajes
- A. V Diagramación del sitio web *Laboratorio Interactivo de Biología 1.0*
- A. VI Páginas del sitio web *Laboratorio Interactivo de Biología 1.0*
- A. VII Recursos del sitio web *Laboratorio Interactivo de Biología 1.0*
 - Prácticas
 - Mapas conceptuales
 - Tutoriales
 - Listado de recursos
- A. VIII Temario del programa EXANI-I
- A. XIX Indicadores del aprovechamiento de las TIC propuestos por la UNESCO en 2008