



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR  
ESCUELA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR UNIDAD MORELIA.  
BIOLOGÍA**

**“COMBINACIÓN DE ESTRATEGIAS LÚDICAS Y DE APRENDIZAJE SITUADO (ABC) PARA  
LA ENSEÑANZA DE BIOTECNOLOGÍA EN ALUMNOS DE BACHILLERATO”**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

**PRESENTA:**

**ELIZABETH DALILA FRAUSTO SOTELO**

**TUTOR PRINCIPAL**

**DRA. NANCY CALDERÓN CORTÉS  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:**

**MTRA. MARÍA DE JESÚS PASALLO ZEPEDA  
DR. MIGUEL RAGGI PÉREZ  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA**

**MORELIA, MICHOACÁN. OCTUBRE 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**LIC. IVONNE RAMÍREZ WENCE**

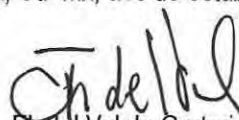
Directora General de Administración Escolar, UNAM  
Presente.

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Subcomité de Tesis del Comité Académico de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior, celebrada el día 10 de septiembre del 2018, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestra en Docencia para la Educación Media Superior (Biología) de la alumna **Elizabeth Dalila Frausto Sotelo** con número de cuenta **517007851**, con la tesis titulada: **“Combinación de estrategias lúdicas y de Aprendizaje Situado (ABC) para la enseñanza de la Biotecnología en alumnos de bachillerato”**. Bajo la dirección de la **Dra. Nancy Calderón Cortés**.

Presidente: Mtra. María de Jesús Pasallo Zepeda  
Vocal: Dra. María Esther Urrutia Aguilar  
Secretario: Dra. Nancy Calderón Cortés  
Suplente: Dr. Miguel Raggi Pérez  
Suplente: Dr. Luis Eduardo Servín Garcidueñas

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”  
Cd. Universitaria, Cd. Mx, a16 de octubre de 2018.



Dra. Ek del Val de Gortari  
Secretaria de Investigación y Posgrado

**Investigación realizada con financiamiento del Fondo Sectorial SEP-CONACYT, Proyecto CB 2015/253420: “Origen y evolución de los mecanismos endógenos de digestión de celulosa en insectos” otorgado a la Dra. Nancy Calderón Cortés y del proyecto DGAPA/UNAM PE204317 “La Ecología Molecular va a tu escuela: Cátedra de “Ecología Molecular para el estudio de la biodiversidad en México en Centros de Enseñanza Media Superior de Michoacán” otorgado al Dr. Hernando A. Rodríguez Correa.**

**Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca con número (CVU/Becario): 206145/613229 recibida para la realización de los estudios de Maestría.**

## AGRADECIMIENTOS

Dra. Nancy Calderón Cortes, por haber dirigido el presente trabajo y darme la oportunidad de crecer profesionalmente. Por su guía, paciencia, apoyo incondicional en momentos difíciles, amistad, cariño y por caminar junto a mí en esta gran aventura de enseñanzas.

Mtra. María de Jesús Pasallo Zepeda por sus comentarios y observaciones para mejorar la investigación. Por su apoyo, enseñanzas y sobre todo por ser una gran maestra (disfrute cada una de sus clases), es una inspiración para la profesión docente.

Dr. Miguel Raggi Pérez por sus observaciones para mejorar la presente investigación.

Dr. Luis Eduardo Servín por sus valiosas contribuciones, apoyo, paciencia y por contagiarme en cada una de sus clases el amor por la ciencia.

Dra. María Esther Urrutia por sus valiosas aportaciones para mejorar la presente investigación.

Dr. Hernando Alonso Rodríguez Correa por su apoyo con el uso del equipo de Biología Molecular para la realización de la práctica de demostración " Técnicas de ADN recombinante: juguemos a ser científicos".

Dr. Jesús Llanderal Mendoza por brindarme su tiempo y conocimientos en el laboratorio de Biología Molecular de la ENES Morelia, para aprender sobre las técnicas de manipulación del ADN.

Claudia Maritza Colín Melchor, Juan Carlos Alvarado Avilés, Andrés Eduardo González Yépez y Jesús Llanderal Mendoza, por su apoyo para la realización de la práctica de demostración "Técnicas de ADN recombinante: juguemos a ser científicos".

Karina Martínez Gamiño, por permitirme llevar la parte práctica del proyecto a sus grupos y apoyarme para que todo saliera bien.

Dr. Rafael Hernández Guzmán quien ha llenado mi vida de amor, por su apoyo incondicional para llevar a cabo este y otros proyectos personales y profesionales. También por su invaluable ayuda para elaborar material didáctico, la obtención de artículos y consejos que contribuyeron a la mejora del presente trabajo.

Dra. Rosalba Alonso Rodríguez una de las personas más importantes en mi vida ya que con su ejemplo, cariño y apoyo fue mi mentora y guía para encontrar mi camino profesional, siempre te estaré agradecida.

A mis compañeras y amigas de generación: Blanca, Andrea, Lupita, Karina y Rosario, por compartir con migo su gusto por la biología y la enseñanza. Fueron dos años grandiosos llenos de todo tipo de experiencias.

A todos mis profesores de la MADEMS por sus enseñanzas a lo largo de estos dos años y por recordarme que un buen profesor nunca deja de aprender.

A unos amigos muy especiales que comparten con migo el amor y dedicación por la docencia. Gracias y que nunca termine la prospección: Iris, Penélope, Cuquita y Ubaldo.

A mis amigas, soy afortunada por contar con estas personas tan increíbles y excepcionales en mi vida: Clara Ramírez, Dewy Carrillo, Victoria Valió, Guadalupe Villa, Nataly Tiscareño, Dania Ortiz, Milzze, Gavilanes, Judith Avena, Azucena López, de una u otra manera siempre están para mí, las quiero mucho.

*Dedicatoria.*

*A mis padres:*

*Rafael Frausto y Carmen Sotelo*

*"Gracias por enseñarme a caminar por la vida con su ejemplo, cariño, apoyo y amor".*

*A mis hermanos:*

*Edith y Alejandro, amigos y compañeros de alegrías y tristezas. Aunque la vida ha sido un poco complicada su compañía y apoyo hace que todo sea más fácil.*

*A Hernández-Guzmán Rafael:*

*Por tu amor, comprensión y apoyo para superarme cada día, gracias por ser mi compañero de aventuras y de desvelos, siempre estas junto a mí.*

*Eres un gran ser humano: noble, buen padre, amigo, profesional, mi gran AMOR.*

*Sara Hernández Frausto:*

*Mi pequeño gran AMOR, eres la luz de mis ojos y me motivas para superarme cada día personal y profesionalmente, nunca olvides que tú puedes llegar hasta donde te lo propongas, los límites te los pones tú.*

*La UNAM para mí siempre fue un monstruo donde me enfrente a mí misma, pero hoy puedo decir que lo logre  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"*

## ÍNDICE

Resumen .....	8
1. Introducción .....	10
2. Pregunta de investigación .....	14
3. Objetivos .....	14
General.....	14
Particulares .....	14
4. Justificación.....	15
5. Antecedentes .....	17
6. Marco teórico.....	20
6.1. Bases pedagógicas educativas .....	20
6.1.1. La enseñanza y el aprendizaje en la educación .....	20
6.1.2. Modelos didácticos.....	21
a) Modelo didáctico tradicional o transmisor .....	22
b) Modelo didáctico-tecnológico.....	22
c) Modelo didáctico espontaneísta-activista .....	23
d) Modelo didáctico alternativo o integrador .....	23
6.1.3. Estrategias de enseñanza .....	24
6.1.3.1. Estrategias lúdicas .....	25
6.1.3.2. Estrategia situada de Aprendizaje Basado en Casos (ABC) .....	26
6.2. Bases disciplinares.....	28
6.2.1. Biotecnología.....	28
6.2.1.1. Conceptos biológicos básicos .....	29
6.2.1.2. Manipulación del ADN.....	31
6.2.1.3. Bioética: aplicación y riesgos de la manipulación .....	33
7. Método .....	34
7.1. Metodología de la investigación.....	34
7.2. Contexto escolar donde se desarrolló la investigación.....	35
7.3. Población de estudio .....	35
7.4. Material.....	36



7.5. Instrumentos para recopilar datos.....	39
7.6. Análisis estadístico .....	41
8. Resultados.....	43
8.1. Resultados cuantitativos .....	43
8.1.1. Prueba de opción múltiple .....	43
8.1.2. Ensayo .....	47
8.2. Resultados cualitativos.....	53
8.2.1. Diario del docente .....	53
8.2.2. Encuesta de opinión .....	56
9. Discusión .....	60
10. Conclusiones .....	67
11. Referencias.....	69
12. Anexos.....	78

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la combinación de estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos (ABC) para la enseñanza del tema de Biotecnología, para lo cual se diseñaron cinco actividades lúdicas que permitieron la enseñanza de conceptos básicos de Biología y Genética como ADN, replicación, mutación, selección natural, adaptación y manipulación del ADN. Adicionalmente, se planteó un estudio de caso sobre el problema de contaminación del lago de Pátzcuaro con metales pesados y la revisión de diferentes alternativas biotecnológicas de biorremediación que incluyen el uso de microorganismos con capacidades metabólicas particulares, la manipulación del ADN y los organismos transgénicos. La investigación se realizó en el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 94 de Pátzcuaro, Michoacán. Se trabajó con cuatro grupos de sexto semestre y un total de 158 alumnos. Las dos estrategias de enseñanza evaluadas se encuentran dentro del modelo educativo alternativo o integrador que permite un trabajo colegiado y en equipo. Para llevar a cabo la investigación se siguió un diseño metodológico mixto en el que se utilizaron cuatro instrumentos de evaluación: examen de opción múltiple, elaboración de un ensayo, encuestas de opinión y diario del docente. Los resultados obtenidos indicaron que el uso de estrategias lúdicas y ABC mejora significativamente el aprendizaje del tema de Biotecnología, tanto de manera individual como en combinación. Los grupos que usaron juegos durante las clases presentaron mayores porcentajes de aceptación y motivación que los alumnos del grupo control, mientras que los grupos que usaron la estrategia ABC presentaron mejores resultados en la integración de conceptos, argumentación, pensamiento crítico y reflexivo. En conclusión la combinación de estrategias lúdicas y ABC para la enseñanza promueve diferentes procesos cognitivos, por lo que representa una alternativa psicopedagógica valiosa para abordar temas complejos como la Biología, que además de la integración de conceptos abstractos, requiere del desarrollo de pensamiento crítico y reflexivo por las implicaciones éticas de los usos de las tecnologías desarrolladas a partir de la Biología.

## **Abstract**

The objective of this research was to evaluate the combination of educational ludic strategies and case-based learning (ABC) for the teaching of the Biotechnology subject. Five ludic activities that allowed the teaching of basic concepts of Biology and Genetics such as DNA, replication, mutation, natural selection, adaptation and DNA manipulation were designed. In addition, a case study about the problem of contamination of the Pátzcuaro lake with heavy metals presenting a review of different biotechnological alternatives for bioremediation that includes the use of microorganisms with particular metabolic capacities, the manipulation of DNA and the use of transgenic organisms was elaborated. The research was conducted at the "Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 94 of Pátzcuaro, Michoacán". We worked with four groups of sixth semester and a total of 158 students. The two teaching strategies evaluated are within the alternative or integrative educational model that allows collegiate and team work. To carry out the research, a mixed methodological design was applied, for which four evaluation instruments were used: multiple choice exam, preparation of an essay, opinion surveys and teacher's diary. The results indicated that the use of ludic strategies and ABC significantly improves the learning of the Biotechnology subject, both individually and in combination. The groups that carried out ludic activities showed higher percentages of acceptance and motivation than the students in the control group, meanwhile the groups that used the ABC strategy showed better results in the integration of concepts, argumentation, critical and reflective thinking. In conclusion, the combination of ludic activities and ABC promotes different cognitive processes, and thus, it represents a valuable psychopedagogic alternative useful to address complex issues such as biology, which besides the integration of abstract concepts, requires the development of critical thinking and reflection about the ethical implications of the uses of technologies developed from Biology.

## 1. Introducción

La Educación Media Superior (EMS) representa una etapa clave en la formación de cualquier persona y juega un papel muy importante en el desarrollo social y económico, debido a que es en este nivel educativo donde los jóvenes son preparados para desempeñarse en un empleo o continuar sus estudios superiores. Datos reportados por el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2011) indican que el nivel de estudios contribuye a determinar el nivel de pobreza y vulnerabilidad social de una persona. En general, una persona con estudios tiene mayor probabilidad de conseguir un empleo y desempeñarse en el ámbito laboral (Santiago, Caballero, Gómez-Mayen y Domínguez, 2013). De esta manera, es importante que los alumnos egresen del nivel medio superior con buenas bases educativas, lo cual les permita continuar con sus estudios a nivel superior y adquirir las habilidades y destrezas para desempeñarse laboralmente. No obstante, diversas evaluaciones de la educación en este nivel indican un rezago importante que debe ser atendido (De Ibarra-Nicolín, 2012).

Una de las evaluaciones más importantes del nivel educativo de alumnos de Bachillerato, es la prueba del Programa Internacional de Evaluación de los Alumnos (PISA), que aplica la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) a jóvenes de entre 15 y 16 años de edad. Desde el 2006 y hasta la fecha, la evaluación PISA se ha centrado principalmente en las ciencias. Sin embargo, esta prueba también evalúa áreas como las matemáticas y la lectura. En la última evaluación PISA aplicada en el 2015, México obtuvo niveles por debajo del promedio en las tres áreas que evalúa: ciencias, matemáticas y español (OCDE, 2015).

Un aspecto relevante del reporte de la OCDE, es que los resultados de la prueba PISA para México fueron bajos, ya que México se ubicó en el lugar 58 de los 72 países que participan en esta evaluación. Sin embargo, al parecer, los alumnos mexicanos evaluados muestran un mayor interés por la ciencia, debido a que

manifiestan tener expectativas de una carrera profesional relacionada con las ciencias o simplemente estar motivados para aprender ciencia (OCDE, 2015). Desde el punto de vista educativo en México, lo anterior representa un área de oportunidad donde se puede aprovechar el interés por la ciencia e implementar estrategias que sean atractivas para los jóvenes.

Una de las ciencias que permite aprovechar esta oportunidad es la Biología. De acuerdo con la Reforma Integral de la Educación Media Superior (RIEMS), al ser una ciencia experimental, la Biología proporciona al alumno información fundamental que promueve el desarrollo de habilidades para solucionar problemas cotidianos, aplicar la metodología científica, trabajar de manera colaborativa, y para valorar la contribución de la Biología en diferentes ámbitos (SEP, 2016).

Es importante mencionar que dentro del marco curricular de la RIEMS, la enseñanza de la Biología incluye por lo menos una asignatura básica de tronco común (Biología I) impartida de manera obligatoria en los primeros semestres en todos los programas de la EMS, y una segunda asignatura (Biología Contemporánea) impartida en el último semestre al área con perfil Químico-Biológico (SEMS, 2013). El objetivo general de estas asignaturas es que el alumno comprenda los conocimientos básicos sobre los procesos biológicos y los integre en temas más complejos como el desarrollo de estrategias de manejo sostenible de los recursos, desarrollo de tecnologías y estrategias de conservación de la biodiversidad, los cuales enfatizan la importancia social, económica y cultural de los aspectos biológicos actuales (Castro, 2015).

Debido a la rapidez de los avances científicos en Biología y a las consecuencias biológicas, éticas y sociales de algunos de los desarrollos tecnológicos de esta ciencia, como la modificación genética de los organismos, los programas de Biología a nivel Bachillerato resaltan la importancia de la enseñanza del tema de Biotecnología. Estos programas consideran a la Biotecnología como un tema integrador y transversal que permite sentar las bases conceptuales necesarias para que los alumnos comprendan la importancia del desarrollo de tecnologías a partir

de los sistemas biológicos y del aprovechamiento de los recursos naturales de una manera responsable, así como para comprender el impacto que las tecnologías desarrolladas tienen en los ecosistemas y en la sociedad (Cook, 2009). Sin embargo, el tema de Biotecnología es un tema complejo que requiere el aprendizaje de diversos conceptos básicos como: ADN, gen, cromosomas, replicación del ADN, mitosis, meiosis, mutaciones, variación genética, diversidad biológica, adaptación, selección natural e ingeniería genética, para que los alumnos comprendan las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos. No obstante, diferentes estudios han demostrado que los alumnos de Bachillerato, en general, presentan problemas para entender los conceptos biológicos básicos, y por lo tanto les es difícil dar sentido e integrar la información a un contexto social, económico y cultural (Marbach, 2001; Campanario y Moya, 1999).

En este sentido Piaget y Vigotsky, reconocen que el docente se enfrenta a un gran reto a la hora de enseñar, debido a que debe enseñar conceptos científicos y abstractos en su mayoría, para que los alumnos puedan construir nuevos conocimientos y desarrollar un pensamiento crítico (Piaget 1996; Vigotsky 1978 ). De acuerdo con algunos autores, el pensamiento crítico se presenta cuando el alumno desarrolla habilidades de análisis, síntesis y razonamiento hipotético deductivo, para resolver problemas y enfrentar situaciones de la vida diaria de una manera lógica, razonable, reflexiva y con responsabilidad (Coll, 2010; Díaz, 2003; García, 2009).

Con base en lo anterior, el presente trabajo propone alternativas innovadoras para enseñar conceptos biológicos básicos, necesarios para la comprensión de los mecanismos que generan variación genética y por ende diversidad biológica, sentando con esto las bases conceptuales fundamentales para el tema de Biotecnología, ya que si el alumno entiende este tema, puede dar una explicación razonable a los procesos biológicos que lo rodean. Para ello se propone el diseño de una secuencia didáctica donde se combinen dos estrategias de enseñanza:

lúdicas y de aprendizaje situado como el Aprendizaje Basado en Casos (ABC). Estas estrategias forman parte del modelo educativo alternativo o integrador, el cual implica una práctica colegiada, interactiva y de trabajo en equipos, donde se realizan actividades colaborativas y generadoras de conocimiento a través del saber-hacer, que consiste en la estimulación del aprendizaje a través de actividades cognitivas como: juegos, solución de problemas, trabajo colaborativo, etc., con el fin de enseñar un tema complejo como lo es la Biotecnología (Mayorga, 2010; Méndez y Salvador, 2009).

El presente trabajo está constituido por doce secciones. En las primeras secciones se presenta la introducción general, donde se discuten aspectos relevantes de la temática, la pregunta de investigación, los objetivos de la investigación y la justificación donde se argumenta la problemática y el contexto en el que se construirá la temática. En la quinta sección se presenta una revisión bibliográfica sobre el uso de diversas estrategias didácticas en la enseñanza de temas biológicos y el efecto que han tenido en el aprendizaje. La sexta sección aborda el marco teórico, que a su vez se divide en las bases pedagógicas educativas y bases disciplinares. En la séptima y octava sección se describe la metodología de la investigación, las técnicas y materiales usados, así como los resultados obtenidos. En las siguientes secciones se presenta una discusión de los resultados, las conclusiones derivadas del estudio y recomendaciones que podrían mejorar el uso de las estrategias que se plantearon. Finalmente, la sección de anexos presenta todo el material generado en el proyecto, el cual incluye: las planeaciones, los instructivos de juegos, el estudio de caso desarrollado, los instrumentos de evaluación, así como imágenes obtenidas a lo largo de la investigación. Este material puede ser de ayuda para el docente que decida replicar alguna de las estrategias didácticas.

## **2. Pregunta de investigación**

¿La combinación de estrategias lúdicas y de aprendizaje situado que promueven diferentes procesos cognitivos puede mejorar el aprendizaje de temas biológicos complejos como la biotecnología y desarrollar habilidades críticas en alumnos de Bachillerato?

## **3. Objetivos**

### **General**

Evaluar el uso de una secuencia didáctica que involucra la combinación de estrategias lúdicas y de aprendizaje situado, en el aprendizaje de conceptos de biotecnología y el desarrollo de pensamiento crítico en alumnos de bachillerato.

### **Particulares**

- Diseñar material lúdico para la enseñanza de conceptos biológicos básicos de genética necesario para entender el tema de biotecnología.
- Desarrollar una práctica demostrativa de las técnicas de análisis de ADN con un enfoque lúdico.
- Diseñar un caso situado en el Aprendizaje Basado en Casos para analizar y comprender el tema de biotecnología.
- Implementar la secuencia didáctica con alumnos de Bachillerato.
- Comparar el aprendizaje en el grupo donde se utiliza la combinación de estrategias y en un grupo donde no se utilizaran las estrategias.



#### 4. Justificación

La enseñanza de la Biología en la Educación Media Superior es importante y a su vez un reto, debido a que el alumno debe entender diversos conceptos básicos para después relacionarlos con procesos y fenómenos biológicos que suceden en su entorno. Ante tal dificultad la RIEMS (2008) integra al programa la asignatura de biotecnología considerada una disciplina integradora de la biología, que permite entender la ciencia y la tecnología, ya que en la actualidad son protagonistas de los cambios que se están dando en diversos sectores como el agrícola, pecuario, salud, marino, industrial, medio ambiente y biodiversidad. La biotecnología es una disciplina cuyo conocimiento se aplica en múltiples aspectos de la vida cotidiana y se ha convertido en una herramienta importante para el desarrollo de los países (Eleizalde, Parra, Palomino, Reyna y Trujillo, 2010). Por tal razón, la educación implementa la enseñanza de la biotecnología con la finalidad de proporcionar procesos de integración que le permitan a los estudiantes acceder al mundo y participar en él (Vázquez, Núñez, Pereira y Cattáneo, 2008).

El tema de biotecnología es un tema complejo que puede ser enseñado implementando estrategias que ayuden al alumno a darle un sentido lógico a lo que está aprendiendo. Al respecto, autores clásicos como Piaget (1996) abordan la importancia de relacionar la vida y el pensamiento, es decir, la interacción funcional entre la maduración del sistema nervioso y el ambiente (experiencia) mediante estímulos con objetos de distintas formas, tamaños, colores e implementación de esquemas sensorio-motriz que resulta ser un buen estímulo cognitivo en el aprendizaje significativo de los individuos. De igual forma, Díaz-Barriga (1999), menciona la importancia de implementar estrategias didácticas en la práctica docente considerando: el momento adecuado en el que se implementará la estrategia y el tipo de estrategia que se puede utilizar, según el objetivo educativo que se pretenda abordar. Por otro lado, también sugiere que el uso de estrategias combinadas para enseñar temas complejos podría dar mejores resultados en el aprendizaje de los estudiantes. Sin embargo, la revisión bibliográfica incluida en su

investigación muestra diversos estudios donde sólo se ha aplicado una estrategia para la enseñanza de temas complejos; en ninguno de los casos se observa la combinación de estrategias, por lo que sería importante evaluar la combinación de estrategias en la enseñanza de temas complejos.

La relevancia del presente estudio se fundamenta en diseñar una secuencia didáctica que incluya el uso combinado de estrategias lúdicas y aprendizaje basado en casos. La decisión de emplear estas estrategias y no otras, es porque el uso de estrategias lúdicas ayuda a que el alumno domine conceptos, ya que al jugar se enfrentan a retos interactivos y cognitivos que se repiten varias veces y refuerzan la memorización a largo plazo, por tal razón en un primer momento se aborda la teoría mediante esta estrategia y en un segundo momento se usa la estrategia ABC para dar sentido a la información. La estrategia ABC consiste en presentar el contenido en forma de una narrativa, acompañada de preguntas y actividades que promueven la discusión grupal. La finalidad de usar esta estrategia es que el alumno integre lo que aprendió mediante los juegos y logre un aprendizaje significativo.

Por lo anterior, nuestra investigación constituye un aporte pedagógico importante y novedoso para la educación media superior y para el docente de genética y biotecnología, ya que las estrategias lúdicas están diseñadas para abordar temas importantes de genética y el ABC aborda la biotecnología integrando los conocimientos aprendidos con los juegos. También se pone a disponibilidad de cualquier interesado la información necesaria para replicar o adaptar todas las estrategias que se utilizaron en este estudio, dando opciones prácticas y claras para mejorar la enseñanza y en consecuencia el aprendizaje de los estudiantes.

## 5. Antecedentes

La educación se ha transformado en las últimas décadas. Parte de esta transformación se debe a las reformas curriculares que se han presentado en los últimos años en todos los niveles educativos, tanto en México como en otros países, dejando atrás la idea de que los alumnos deben contar sólo con conocimientos declarativos en una área específica de la ciencia, es decir, conocer sólo hechos, conceptos y principios, y aprender de manera lineal y rigurosa (Pantoja y Covarrubias, 2013).

Actualmente, las reformas educativas establecen que el estudiante es el primer actor en el proceso educativo, por lo que proponen que la educación debe estar dirigida a promover el “aprender a aprender”, que consiste en que el alumno desarrolle habilidades para construir su conocimiento a través del aprendizaje autónomo de acuerdo a sus necesidades, lo cual plantea nuevos principios pedagógicos, en los cuales el docente diseña experiencias de aprendizaje, para que el alumno tenga la capacidad de desarrollar un pensamiento analítico, crítico y creativo (Pantoja y Covarrubias, 2013).

Lo anterior resalta la importancia de que el docente modifique sus prácticas de enseñanza para lograr el interés y motivación por aprender del alumno, intentando dejar atrás la práctica que se ha fomentado por muchos años, que básicamente consiste en aprobar, es decir, memorizar información para presentar pruebas. Al respecto Anaya y Anaya (2010) mencionan que siempre se culpa al alumno por no aprender lo que se le enseña. Sin embargo, es ampliamente reconocido que los niños buscan explicación a todo lo que les rodea por el simple motivo de entender lo que sucede, pero como consecuencia de las malas experiencias de aprendizaje, van perdiendo el interés de aprender, hasta llegar a sólo preocuparse por memorizar para aprobar exámenes. Algunas investigaciones han demostrado que si los alumnos disfrutan realizando alguna actividad, es posible que desarrollen habilidades cognitivas (motivación intrínseca: actividades planeadas con un sentido

para el estudiante), e inclusive que utilicen un proceso de solución de problemas con estructuras más lógicas cuando son confrontados a tareas con cierto grado de complejidad (Anaya y Anaya, 2010). Desafortunadamente, la enseñanza de la ciencia en México se ve permeada por la situación educativa del país donde existe la desigualdad y carencia de recursos tanto didácticos como de espacios que refuerzan los hábitos de muchos docentes, que se resisten a realizar cambios en sus prácticas docentes y siguen dando sus temas con un enfoque teórico y memorístico.

Una de las áreas del conocimiento que enfrenta esta situación es la Biología, debido al tipo de contenidos complejos y abstractos que involucra, además de que los profesores no relacionan los contenidos con la vida cotidiana, perdiendo sentido para los alumnos (Pantoja y Covarrubias 2013). Un ejemplo de lo anterior, es el estudio realizado por Olsher y Dreyfus (1999) con alumnos de 13 a 15 años de edad, en el cual se identificó que la falta de conceptos básicos generaba problemas para comprender el tema de Biotecnología, por lo que los investigadores aplicaron estrategias de andamiaje, mediante el planteamiento de preguntas que contribuían a la construcción de nuevos conocimientos. Los resultados que obtuvieron mostraron que las estrategias de enseñanza y aprendizaje impulsadas por las preguntas, contribuyeron al desarrollo de habilidades de cuestionamiento sobre procesos biológicos y al mismo tiempo en el aprendizaje de procesos biológicos importantes en la Biotecnología.

Siguiendo el mismo orden de ideas, Harms (2002) sugiere que el tema de Biotecnología es uno de los más importantes, ya que sí se logra una comprensión en esta área, es más probable que los alumnos pueden darle sentido a procesos biotecnológicos que son parte de la vida diaria. Sin embargo, al realizar un estudio sobre los conceptos básicos que los alumnos de bachillerato deben manejar para entender este tema, descubrió que muchos de los jóvenes tienen ideas erróneas de conceptos importantes, y que muchas veces, la enseñanza que han tenido sobre este tema no es correcta. En este estudio se demuestra que es importante enseñar

contemplando la parte científica, conceptual y ética, siguiendo un sentido que sea lógico para el alumno.

Aunado a lo anterior, France (2000) realizó una investigación sobre el aprendizaje del tema de Biotecnología, en la cual realizó un análisis de cuatro modelos educativos que se utilizan para enseñar este tema, y encontró que los modelos que implican enseñanza situada, incluyendo tanto la solución de problemas como prácticas de laboratorio, mejoran notablemente el aprendizaje, respecto a los modelos en los que sólo se imparten clases teóricas.

Así mismo, Zhang (2014) implementó, una estrategia para la materia de Bioinformática, que consistía en solucionar un problema apegado a la realidad, utilizando bases de datos y software para ayudar a los alumnos a aprender conceptos importantes y desarrollar habilidades prácticas en filogenética molecular. Una parte importante en esta dinámica, fue cuando los alumnos se enfrentaron a la evaluación crítica de sus propios resultados. La evaluación final del desempeño de los estudiantes, indicó que la implementación de esta estrategia ayudó a los estudiantes a lograr mejores resultados en su aprendizaje.

En conclusión, los estudios que abordan la enseñanza de conceptos básicos de genética o biotecnología con nuevas propuestas pedagógicas, han mostrado mejores resultados en el aprendizaje de los alumnos. Sin embargo, en estos estudios también se discute la necesidad de combinar estrategias para la enseñanza de temas como la genética y la biotecnología, que requieren del desarrollo de habilidades críticas y de integración de los conceptos.

## **6. Marco teórico**

### **6.1. Bases pedagógicas educativas**

#### **6.1.1. La enseñanza y el aprendizaje en la educación**

La educación forma parte vital de la estructura social, debido a que brinda herramientas para que los estudiantes integren conocimientos que les serán útiles para su vida diaria, y para después integrarse al campo laboral, como una persona competente, responsable, ética y con valores. Gran parte de estos conocimientos, son adquiridos en los centros educativos que tienen el objetivo de promover el desarrollo personal de los alumnos en todas sus capacidades mentales (cognitivas, afectivas, morales y sociales), para que puedan desarrollar habilidades que les permitan solucionar problemas cotidianos y prepararse para poder contribuir en sus comunidades, con el fin de construir una sociedad cada vez más justa y solidaria (García, 2009; Herbert y Becomo, 2011). Es por ello que para lograr lo anterior, la educación debe de tener en cuenta diversos factores como: contexto social, infraestructura, diversidad cultural, tipo de grupo, así como los procesos de enseñanza y aprendizaje que se den en las aulas.

Los procesos de enseñanza y aprendizaje son elementos que siempre se encuentran relacionados uno con el otro (Coll, 2010). De acuerdo a algunos autores (Coll, 2010; Schunk, 2012), El aprendizaje se puede definir como los cambios que se producen en las personas como resultado de la práctica o de experiencias en las que vivimos, participamos y en las que nos involucramos de una u otra manera. Es por ello, que la experiencia e influencia directa o indirecta de otras personas, culturas y tecnologías contribuyen al aprendizaje de una persona, generando que el conocimiento adquirido muestre cierta permanencia a través del tiempo, pero que también posea un valor adaptativo y funcional. Estas características permiten entender por qué se habla del aprendizaje como algo que se adquiere y que se conserva de una u otra manera en la memoria a lo largo de la vida (García, 2009).

Por otra parte, el proceso de enseñanza se puede entender como una ayuda al proceso de construcción de conocimientos (aprendizaje), debido a que es el estudiante quien ha de construir significados y dar sentido a los conocimientos, donde ninguna acción externa puede remplazar esta tarea, la cual depende únicamente del estudiante. Sin embargo, la orientación y la ayuda que reciba el estudiante en este proceso será de suma importancia. En este sentido, es necesario también que los conocimientos escolares sean entendidos y relacionados con los entornos sociales y culturales, siendo el docente responsable de instruir y de tomar acciones educativas intencionales, sistemáticas, planificadas, especializadas y orientadas a promover el aprendizaje (García, 2009). Por lo tanto, el profesor es una pieza clave en la enseñanza, ya que planeará y dirigirá sus clases de acuerdo a los contenidos escolares que han sido previamente definidos por los grupos profesionales y que se apegan a modelos educativos que responden a las necesidades sociales, culturales y educativas (Coll, 2010).

### **6.1.2. Modelos didácticos**

Los modelos didácticos son herramientas académicas para abordar problemáticas educativas, es decir representan un esquema mediador entre la teoría que ofrecen los paradigmas y la realidad. Los paradigmas educativos representan conocimientos, creencias y teorías aceptadas por una determinada comunidad científica; cada paradigma que se ha utilizado en el contexto educativo propone una manera diferente de enseñanza (Sánchez, Ramírez y Alviso, 2009). Existen cuatro paradigmas: el Conductista de Pavlov y Skinner; el Humanismo de Maslow, Rogers y Allport; el Sociocultural de Vigotsky, Bruner y Cole; y el Psicogenético de Piaget. En general, estos paradigmas nos permiten hacer una retrospectiva de cómo ha ido mejorando la educación, cómo han cambiado las perspectivas de cada época y cómo algunas prácticas se mantienen vigentes (Arancibia, 2008; Hernández, 2006; Sánchez, 2010). Cada uno de los paradigmas hizo innumerables aportaciones a la práctica educativa, y en su momento fueron los más utilizados en la educación.

Los paradigmas educativos ofrecen una explicación sobre el origen del conocimiento, así como de los procesos lógicos y psicológicos involucrados en el aprendizaje. De estos paradigmas derivan los modelos didácticos, siendo estos las representaciones de los procesos de enseñanza y aprendizaje que facilitan el conocimiento y propician la mejora de la práctica docente. Al ser amplios e integradores, estos modelos permiten que el docente seleccione elementos más pertinentes de uno o varios paradigmas educativos, para diseñar un modelo educativo que atienda las necesidades de enseñanza y aprendizaje del alumno (Fonseca y Bencomo, 2011; Medina y Salvador, 2009). Considerando lo anterior, varios autores (Fonseca y Bencomo, 2011; García, 2000; Medina y Salvador, 2009; Mayorga, 2010) han clasificado la mayoría de los modelos didácticos y coinciden en que se pueden agrupar de la siguiente manera:

a) Modelo didáctico tradicional o transmisivo

Este modelo se centra en el profesor y en los contenidos, así como en los aspectos metodológicos, por lo que el contexto, y especialmente el alumno, quedan en segundo término. Este modelo pretende formar a los alumnos dándoles a conocer la información fundamental de la cultura vigente, por lo que los contenidos se conciben desde una perspectiva enciclopédica y fragmentada, donde la disciplina es fundamental. Con respecto a la manera de enseñar, este modelo considera que un buen dominio por parte del profesor es suficiente, por lo cual el método de enseñanza se limita a una exposición, lo más ordenada y clara posible; el libro de texto es el único recurso, y el alumno está en un segundo plano donde sólo aprende lo que se le enseña mediante la memorización, por lo que la evaluación consiste de pruebas declarativas.

b) Modelo didáctico-tecnológico

En este modelo se plantea la preocupación de transmitir el conocimiento acumulado con el uso de metodología activa, es decir, plantea la transmisión de la teoría y la



práctica de manera conjunta. En este modelo se busca una formación moderna para el alumno, entendida como formación cultural y no como desarrollo personal. Este modelo normalmente incluye la enseñanza de las aportaciones más recientes de corrientes científicas, o incluso de algunos conocimientos no estrictamente disciplinares, más vinculados a problemas sociales y ambientales, mediante estrategias metodológicas o técnicas concretas que producen en el alumno el aprendizaje de aquellas conclusiones ya previamente elaboradas por los científicos. Para ello se recurre a la combinación de exposición y ejercicios prácticos específicos, donde el profesor dirige las clases utilizando una secuencia de actividades, y el alumno se centra en las actividades que pueden incluir tareas abiertas que reproducen de alguna manera el proceso de investigación científica. En este modelo la evaluación está centrada en la medición detallada del aprendizaje mediante pruebas o exámenes y ejercicios.

#### c) Modelo didáctico espontaneísta-activista

Este modelo se puede considerar como una alternativa espontaneísta al modelo tradicional; tiene como finalidad educar al alumno integrándolo a la realidad que lo rodea, por lo que el alumno aprenderá exclusivamente lo que sea de su interés y lo irá descubriendo mediante el contacto directo en actividades escolares como prácticas de laboratorio o campo, trabajo en equipo y realizando actividades flexibles, de carácter abierto y sin programación, siendo el alumno el centro del proceso, mientras que el profesor sólo coordina la dinámica general de la clase como líder social y afectivo. En este modelo, la evaluación se centra en las destrezas y en las actitudes adquiridas por el alumno, mediante la observación directa y el análisis de trabajos individuales y grupales.

#### d) Modelo didáctico alternativo o integrador

En este modelo, la metodología didáctica se concibe como un proceso de investigación escolar desarrollado por el alumno con la ayuda del profesor a partir

del planteamiento de problemas y actividades contextualizadas a la realidad del alumno, lo cual se considera el mecanismo más adecuado para favorecer la construcción del conocimiento escolar. En este modelo se desarrolla una secuencia de actividades que propicien la construcción del conocimiento y el manejo de conceptos en relación a dichos problemas y actividades. Por lo tanto, los intereses del alumno se tienen en cuenta, así como sus ideas, tanto en relación con el conocimiento propuesto, como en la construcción de ese conocimiento, para lo cual el profesor desempeña un papel activo como coordinador de los procesos y como investigador en el aula. En este modelo, la evaluación se hace a través de diversos instrumentos de seguimiento, como productos, rubricas, diarios, etc.

Dentro de la clasificación antes mencionada el modelo didáctico alternativo o integrador, es el que mejor responde a las demandas formativas, ya que en este modelo se pueden implantar diferentes estrategias metodológicas adaptativas que permitan alcanzar el fin educativo.

### **6.1.3. Estrategias de enseñanza**

Etimológicamente la palabra “estrategia” significa “el arte de dirigir las operaciones militares” (Sánchez, 2010, p.6). Sin embargo, en la actualidad esta palabra ha perdido la connotación militar y se ha extendido a otros ámbitos para hacer referencia en general a las acciones realizadas para lograr un objetivo o solucionar un problema (Sánchez, 2010). En el ámbito educativo algunos autores han definido a las estrategias como aquellos enfoques y modos de actuar que hacen que el profesor dirija correctamente la formación del alumno, aplicando procedimientos y recursos necesarios para promover el aprendizaje y la adquisición de nuevos conocimientos en los estudiantes (Díaz y Hernández, 1999; Mayorga 2010; Sánchez, 2010). Estos procedimientos deben ser intencionales, cumpliendo dos tareas cognitivas elementales: adquisición y procesamiento de la información. Donde además se puede incluir la atención selectiva (actividades atractivas para el

alumno), la organización de información relevante, la comprensión y la utilización del conocimiento previo. Para que una estrategia educativa cumpla con los resultados esperados, esta se debe diseñar o seleccionar de acuerdo a los parámetros mencionados anteriormente (Beltrán, 2002). Al respecto, algunos autores reconocen que existen una gran variedad de estrategias de enseñanza que se pueden implementar en el salón de clases, entre las cuales se pueden mencionar las estrategias lúdicas y estrategias situadas (Díaz, 2003; Vázquez, Núñez, Pereira y Cattáneo, 2008).

#### **6.1.3.1. Estrategias lúdicas**

Las actividades lúdicas que aparecen en la vida del ser humano desde edades muy tempranas, juegan un papel importante para el desarrollo del individuo en las diferentes etapas de la vida. Desde edades tempranas el niño es estimulado con juegos: a) sensorio-motrices que favorecen el desarrollo corporal, b) simbólicos que simulan situaciones de la vida real y c) reglamentados que estimulan la convivencia social. Es importante mencionar que los juegos cambian de acuerdo a la edad, siendo más complejos para mantener el interés del jugador. La importancia del juego radica en que se relaciona con diferentes áreas del desarrollo psicológico, emocional, social, así como en el aprendizaje y en la psicomotricidad, es por ello que el juego es empleado como recurso pedagógico (Damián, 2014).

El componente lúdico puede aprovecharse como fuente de recursos estratégicos, en cuanto que ofrece numerosas ventajas en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Bajo esa lógica los juegos pueden ser funcionales como: a) estrategia afectiva puesto que desinhibe, relaja, y motiva; b) estrategia comunicativa, ya que permite una comunicación real dentro del aula; c) estrategia cognitiva porque en el juego habrá que deducir, inferir, formular hipótesis; y d) estrategia de memorización cuando el juego consista en repetir una estructura o en sistemas mnemotécnicos

para aprender (Sánchez, 2010). Por lo anterior, es importante implementar estrategias lúdicas en las aulas, ya que el componente lúdico se puede aprovechar para enseñar temas complejos o simular situaciones reales en un ambiente relajado y divertido, teniendo en cuenta los factores cognitivos del proceso de aprendizaje. Otras ventajas de los juegos, es disminuir la ansiedad dando mayor seguridad a los alumnos y garantizando la motivación, además de proporcionar una forma de aprendizaje variado y ameno (Minerva, 2002). Sin embargo, es importante considerar algunos aspectos al momento de querer implementar estrategias lúdicas en el aula, ya que los juegos deben de contar con tres elementos (Chacón, 2008).

- Mostrar un objetivo didáctico, es decir, el juego debe cumplir con el objetivo educativo y proporcionar los conocimientos que se buscan que el alumno adquiera a través de la actividad.
- Incluir acciones lúdicas, que son los elementos del juego didáctico que conllevan acciones claras que estimulan la actividad y que hacen ameno el proceso de enseñanza, acrecentando la atención del alumno.
- Incluir reglas, ya que estas determinarán qué y cómo hacer las cosas que dan la pauta para cumplir con las actividades planteadas.

Una vez, establecidos estos puntos, se debe de tomar en cuenta que los juegos deben de cumplir con las siguientes características: intención didáctica, objetivo didáctico, reglas – limitaciones y condiciones, número de jugadores, edad específica de los jugadores, tensión, trabajo en equipo y competencia (Chacón, 2008).

### **6.1.3.2. Estrategia situada de Aprendizaje Basado en Casos (ABC)**

La enseñanza situada ofrece la oportunidad de vincular los aprendizajes que el alumno puede obtener en la escuela con su propia realidad, e incluye dos métodos: el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), y el Aprendizaje Basado en Casos (ABC). El primer método (ABP), consiste en plantear una situación enfocada a algún

tema real o ficticio, donde el alumno tiene la tarea de definir el problema central, así como las posibles soluciones. En el segundo método (ABC) se plantea al alumno un caso basado en datos reales, el cual debe ser analizado y a partir de esta análisis se deben desarrollar propuestas que lleven a una solución del caso que se plantea; los ABC pueden tomarse de la vida real o simulando la realidad, basado en documentos científicos (Díaz, 2006).

Para diseñar un caso por el método ABC, algunos autores (Díaz, 2003; Díaz, 2006; García, 2014) coinciden en las siguientes recomendaciones:

- El caso tiene que contar con un inicio, desarrollo y cierre. El inicio del caso debe tener un encuadre, tomando en cuenta el contexto del alumno para atrapar su interés. En el desarrollo se pueden integrar textos científicos, periodísticos, literarios o videos documentales. El cierre consiste en exponer “pro y contras” a las que llega cada equipo, donde se resaltan las distintas formas de pensar y se analizan las respuestas para llegar a la conclusión que ninguna visión es definitiva.
- El docente no debe de imponer su punto de vista, su papel es conducir a que el alumno genere su propio punto de vista, sobre la temática que se está abordando.
- Las preguntas no deben seguir un camino cerrado, pues las respuestas de los alumnos pueden conducirse a nuevas interrogantes y a la reflexión.
- La evaluación debe ser cualitativa, con instrumentos que valoren el desempeño del alumno, su nivel de habilidad, su disposición y actitud, se puede evaluar utilizando distintos tipos de instrumentos como rúbricas.

## **6.2. Bases disciplinares**

### **6.2.1. Biotecnología**

La Biotecnología implica el uso y especialmente, la alteración de organismos, células o moléculas biológicas para producir alimentos, medicamentos y otros bienes o servicios a la sociedad. Esta disciplina se puede clasificar en clásica y moderna. La Biotecnología clásica data de hace 2000 a.C., aunque estudios históricos han demostrado que los chinos, griegos, romanos, babilonios y egipcios, entre otros, han hecho uso de la biotecnología, aprovechando las células de levadura para producir pan, cerveza y vino durante 10,000 años (Thieman y Palladino, 2010). La reproducción o cría selectiva de plantas y animales tiene una historia igualmente extensa: fragmentos de calabaza de 800 a 10 mil años de antigüedad, encontrados en una cueva árida de México, tienen semillas más grandes y cáscara más gruesa que la calabaza silvestre, lo que indicaría que se practicaba una reproducción selectiva con fines de mejorar el contenido alimenticio (Audesirk, Audesirk, y Byers, 2013). En la actualidad algunos de los métodos de la biotecnología clásica como la reproducción selectiva, se siguen utilizando.

Por su parte, la Biotecnología moderna recurre con frecuencia a la ingeniería genética, un término que se refiere a métodos más directos para modificar el material genético. Las células y los organismos sometidos a la ingeniería genética podrían tener genes que se han suprimido, adicionado o alterado. La ingeniería genética puede utilizarse para aprender más acerca de cómo funcionan las células y los genes, para desarrollar mejores tratamientos para las enfermedades, desarrollar moléculas biológicas valiosas como hormonas y vacunas, y para mejorar animales y plantas para la agricultura. (Audesirk et al., 2013; Campbell y Reece, 2005).

Como podemos ver, la comprensión de la Biotecnología es necesaria para entender procesos que generan productos y servicios utilizados en la vida diaria, pero para poder comprender la biotecnología, es necesario contar con bases conceptuales

sobre genética y selección natural, por lo que a continuación se habla de manera general sobre algunos conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación y adaptación).

### **6.2.1.1. Conceptos biológicos básicos**

Iniciaremos entendiendo que la base de la información genética se encuentra almacenada en las células de los seres vivos. En los organismos que se reproducen sexualmente, cada descendiente es una combinación de los rasgos de sus padres, debido a la combinación de información genética. En 1953, James Watson y Francis Crick trabajaron con la estructura del ADN, la molécula que incluye los genes, que son las unidades de material hereditario. La información genética se encuentra en el ácido desoxirribonucleico, llamada también ADN, el cual consta de una hélice formada por dos cadenas largas compuesta por pequeñas unidades llamadas nucleótidos, que a su vez constituyen de un fosfato, un azúcar (desoxirribosa) y una de cuatro bases: adenina (A), timina (T), guanina (G) y citosina (C) (Audesirk et al., 2013; Solomon et al., 2013). Dentro del ADN, la información se almacena en unidades denominadas genes. Los genes son las distintas porciones de esta biomolécula; cada gen contiene secuencias que se traducen por diferentes procesos moleculares a la síntesis de proteínas y moléculas de RNA que dirigen y llevan a cabo todas las funciones celulares, determinando así las características de los seres vivos. La información que dirige estos procesos (contenida en los genes), se encuentra codificada en la secuencia de nucleótidos, lo cual permite que la replicación del ADN durante el ciclo celular, transmita la información genética de generación en generación (Audesirk et al., 2013; Solomon et al., 2013).

Por consiguiente, entre todas las moléculas de la naturaleza, los ácidos nucleicos son únicos en su capacidad de dirigir su propia replicación a partir de monómeros. La semejanza de la descendencia con sus padres tiene su base en la replicación precisa del ADN y en su transmisión de una generación a la siguiente (Campbell y

Reece, 2005). El proceso de replicación de ADN es lo suficientemente fiel, para garantizar la transmisión de la información genética. Sin embargo, durante este proceso también se pueden presentar errores: un error por cada cien a mil millones de pares de bases (en los seres humanos, es menos de un error por cromosoma por ciclo de replicación). La tasa de error es relativamente baja debido a la acción de enzimas de reparación del ADN (Audesirk et al., 2013; Solomon et al., 2013), pero cuando estos errores no son corregidos y se mantienen en la nueva cadena del ADN, se presentan las mutaciones. Las mutaciones son por tanto, cambios en la secuencia del ADN, y si estas mutaciones se presentan en ADN de células sexuales pueden heredarse de generación a generación, constituyendo así uno de los principales mecanismos evolutivos que generan diversidad, debido a que generan variación genética, entendida como las diferencias que pueden existir en el material genético entre los individuos de las poblaciones (Thieman y Palladino, 2010; Thieman y Palladino, 2010).

La mutación es un proceso que ocurre completamente al azar, pero puede tener efectos tanto negativos como positivos y neutros. Si una mutación es perjudicial, es posible que la célula del organismo que la hereda muera rápidamente. Sin embargo, la mayoría de las mutaciones no tienen ningún efecto sobre el organismo que las hereda, y en algunos casos pueden ser benéficas. Las mutaciones que son benéficas, al menos en ciertos ambientes, pueden ser favorecidas por la selección natural, llegando a representar adaptaciones importantes que aumentan la probabilidad de sobrevivencia y reproducción de los organismos que las poseen (Thieman y Palladino, 2010). Estas adaptaciones, son precisamente algunas de las características que la Biotecnología busca estudiar para ser aprovechadas en el desarrollo de nuevas estrategias biotecnológicas que permitan atender algún problema ambiental, de producción de fármacos y/o alimentos, entre otros.



### 6.2.1.2. Manipulación del ADN

Como se ha mencionado anteriormente, la Biotecnología moderna recurre con frecuencia a la ingeniería genética, un término que se refiere a métodos más directos de manipulación del material genético. Las células y los organismos sometidos a la ingeniería genética podrían tener genes que se han suprimido, alterado o insertado. La ingeniería genética se utiliza para conocer cómo funcionan las células, para desarrollar tratamientos para enfermedades, elaborar medicamentos y para mejorar plantas y animales para la agricultura (Thieman y Palladino, 2010).

Una herramienta esencial de la ingeniería genética, es el ADN recombinante, el cual representa un ADN que fue modificado para llevar genes o segmentos de genes provenientes de otros organismos. Con el uso de diversas técnicas de biología molecular, es posible producir grandes cantidades de ADN recombinante en bacterias, virus o levaduras, que luego se transfieren a otras especies. Las plantas, animales o microorganismos que expresan ADN modificado o derivado de otras especies se llaman organismos transgénicos o genéticamente modificados. La Biotecnología moderna incluye numerosos métodos de análisis y manipulación del ADN, a continuación se mencionan estas técnicas (Audesirk et al., 2013; Thieman y Palladino, 2010):

- Purificación del ADN, consiste en extraer el ADN de tejidos con procedimientos que purifican y preservan el ADN, además de eliminar otros compuestos que integran la célula. La técnica consta de tres pasos: a) lisis celular, donde se rompe el tejido, pared y membrana celular, con ayuda de métodos físicos o químicos; b) extracción del ADN, donde se eliminan los enlaces con proteínas y RNA y se inactivan las nucleasas; y c) precipitación del ADN, donde se separa el ADN de otros compuestos en solución a través de cargas eléctricas utilizando sales como cloruro de sodio.

- Electroforesis en gel, es una técnica utilizada para visualizar fragmentos de ADN. La electroforesis en gel separa los fragmentos de ADN según su tamaño y los fragmentos se tiñen con un colorante o fluoróforo para que se puedan ver. Con esta técnica se pueden analizar los resultados de una reacción de la polimerasa PCR, ya que al examinar un gel, los fragmentos de ADN que se producen en la reacción son visibles.
- Reacción en cadena de la polimerasa PCR, es una técnica de manipulación del ADN ampliamente utilizada, ya que se puede aplicar en casi todas las áreas de la biología moderna. Las reacciones de PCR producen millones de copias de una secuencia de ADN blanco a partir de un fragmento de ADN molde, generando material suficiente para realizar alguna otra técnica de manipulación o para estudiar los fragmentos obtenidos.
- Clonación, en esta técnica se hacen copias de fragmentos de ADN (un gen), después se inserta este gen en una molécula de ADN circular llamado plásmido. El plásmido puede replicarse en bacterias para producir muchas copias del gen de interés. En algunos casos, el gen también se expresa en las bacterias y se produce una proteína (como la insulina que usan los diabéticos).

Secuenciación de ADN, es un conjunto de métodos y técnicas bioquímicas que consisten en determinar el orden de los nucleótidos que conforman una molécula de ADN (Adenina, Timina, Citosina y Guanina). En algunos casos, sólo se secuencian un fragmento de ADN a la vez, mientras que en otros casos se puede secuenciar un gran conjunto de fragmentos de ADN (como genomas enteros) al mismo tiempo.

### **6.2.1.3. Bioética: aplicación y riesgos de la manipulación**

La Biotecnología tiene el potencial de proporcionar beneficios a las personas y las sociedades, pero también puede tener efectos negativos o consecuencias, por lo que plantea diferentes tipos de dilemas con respecto a los riesgos y beneficios de la manipulación genética de organismos. Esto hace indispensable, que las innovaciones biotecnológicas (como cualquier otra innovación tecnológica) se prueben y analicen cuidadosamente antes de divulgarse para un uso general. Esta responsabilidad recae principalmente en empresas públicas y privadas dedicadas a este tipo de investigaciones, que a su vez se rigen por principios éticos de laboratorio y por una regulación gubernamental que ayuda a asegurar que los productos biotecnológicos puestos en el mercado sean seguros y efectivos (Audesirk et al., 2013; Campbell y Reece, 2005), pero también en las Instituciones de Educación, las cuales tienen la responsabilidad de brindar una formación integral a los alumnos, considerando no sólo la comprensión de los procesos biológicos, sino su formación en el pensamiento crítico y las habilidades necesarias para participar en el diálogo y tomar decisiones informadas en contextos de diversidad cultural, en el nivel local, nacional e internacional, lo cual se adquiere con la inclusión de la enseñanza de Bioética (SEMS, 2013).

Como ya hemos señalado, la Bioética plantea dilemas donde se valoran beneficios y consecuencias en cuanto al tema de la manipulación genética de organismos, por lo que es fundamental abordar estos temas en los centros educativos para mantener informados a los estudiantes y que ellos generen sus propios juicios y opiniones sobre temas biotecnológicos.

## **7. Método**

### **7.1. Metodología de la investigación**

En la presente investigación se trabajó con tres grupos prueba y uno control, con un total de 158 alumnos, y se implementaron estrategias de enseñanza lúdicas y de aprendizaje situado (Aprendizaje Basada en Casos). Estas estrategias forman parte del modelo educativo alternativo o integrador, el cual implica una práctica colegiada, interactiva y de trabajo en equipo. Para el desarrollo de la investigación se siguió un diseño metodológico mixto, que consiste en mezclar los enfoques cuantitativos y cualitativos. Para obtener y analizar los datos fue necesario diseñar instrumentos de evaluación con base a los siguientes autores: Delgado, Andrade, Juárez, García, Padilla, Vargas (2010); Díaz (2006); Jiménez (2010). Para la evaluación cuantitativa se aplicó un examen de opción múltiple y se pidió elaborar un ensayo, que a su vez se evaluó con una rúbrica al inicio y al final de la intervención pedagógica. La escala que se manejó para el examen de opción múltiple y la rúbrica fue de 1 a 10 puntos. Estos instrumentos generaron datos concretos sobre el aprendizaje de los alumnos. Para la evaluación cualitativa se aplicaron encuestas de opinión de los alumnos después de abordar el tema y se registraron notas al final de cada sesión, como parte del diario de clases del docente. En el caso de la encuesta de opinión se utilizó la escala mucho, regular, poco y nada. Estos instrumentos generaron información que complementó la información cualitativa (Pereira, 2011).

Gracias a la naturaleza del método mixto, fue posible triangular los datos y la información obtenida para identificar las estrategias didácticas que favorecen el aprendizaje y la motivación de los alumnos, lo cual permitió realizar un análisis integral de los datos, ya que al incorporar datos como imágenes, narraciones y verbalizaciones, tanto del docente como de los estudiantes, fue posible contextualizar los datos numéricos obtenidos (Hernández, Fernández, y Baptista, 2004; Pereira, 2011).

## **7.2. Contexto escolar donde se desarrolló la investigación**

La investigación se realizó en el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 94 (CBTIS No. 94), que se encuentra ubicado en calle Periodista Roberto Pita Cornejo 17, Col. Emiliano Zapata, C.P.61607 Pátzcuaro, Michoacán.

El plantel brinda educación a 20 poblados en un radio de 30 km, con una matrícula aproximada de 1470 alumnos por ciclo escolar, ofertando 7 bachilleratos bivalentes: Turismo, Contabilidad, Electricidad, Trabajo Social, Programación, Soporte y Mantenimiento de Equipo de Cómputo y Puericultura.

La escuela cuenta con instalaciones apropiadas como aulas con cañón, laboratorios de usos múltiples, canchas deportivas, sala de maestros, áreas tecnológicas, centro de cómputo, baños y oficinas administrativas.

## **7.3. Población de estudio**

Se trabajó con cuatro grupos de nivel Bachillerato de sexto semestre, del Centro de Estudios de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios (CBTIS No. 94) de Pátzcuaro, Michoacán. Los grupos estaban conformados por un número de entre 37 y 42 alumnos, de edades entre 17-18 años. Se trabajó con los cuatro grupos en 10 sesiones de 1 hora diaria por dos semanas, del 19 de febrero al 2 de marzo del 2018. Es importante mencionar que el tema de Biotecnología, de la asignatura Biología Contemporánea, se abordó en todos los grupos siguiendo una planeación que se diseñó tomando en cuenta los temas y tiempos marcados en el programa oficial de la SEP.

A continuación se describen los grupos y las actividades que se realizaron con cada grupo:

Grupo “A” Control: constituido por 39 alumnos (28 mujeres y 11 hombres), en este grupo el tema se abordó utilizando sólo una presentación con diapositivas como base teórica y única fuente de aprendizaje (Anexo 1).

Grupo “B” Juegos: constituido por 42 alumnos (26 mujeres y 16 hombres), en este grupo el tema se abordó utilizando una presentación como base teórica y estrategias lúdicas para reforzar su aprendizaje (Anexo 2).

Grupo “C” ABC: constituido por 40 alumnos (32 mujeres y 8 hombres), en este grupo el tema se abordó utilizando una presentación como base teórica y la solución de un caso (ABC) como estrategia para reforzar su aprendizaje (Anexo 3).

Grupo “D” Juegos\_ABC: constituido por 37 alumnos (25 mujeres y 12 hombres), en este grupo el tema se abordó utilizando una presentación como base teórica y una combinación de estrategias lúdicas y el caso (ABC) para reforzar su aprendizaje (Anexo 4).

La presentación de diapositivas fue la misma en los cuatro grupos.

#### **7.4. Material**

Se diseñaron cinco juegos para abordar los conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación, adaptación) que el alumno requiere para entender el tema de biotecnología, siguiendo las recomendaciones de Chacón (2008). A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los juegos diseñados y utilizados en la presente investigación.

### Juego 1. Copiando el ADN

Juego de letras de madera para simular la replicación del ADN y las mutaciones. Para este juego se elaborarán 360 piezas de madera MDF de 8 x 7 cm, en estas piezas se pintarán las letras A (adenina), C (citosina), G (guanina) y T (timina). El instructivo del juego se presenta en el Anexo 5.

### Juego 2. La fuerza de la selección

Juego de peces para ilustrar la variación genética y adaptaciones en una población. Para este juego se adquirieron peces de tule de 8 cm de largo, a los cuales se les colocó en la boca una cuenta de color del mismo material, con el objetivo de representar la versión del gen (alelo) que posee cada individuo en la población. Se usaron 6 colores diferentes para representar los alelos en las poblaciones. También se hicieron cañas de pescar con palos de madera de 45 cm de largo x 0.5 cm de diámetro, a los cuales se les colocó un hilo de 30 cm de largo con un imán en uno de los extremos, para que atraigan los peces. De igual manera, se elaboró una hoja de registro del número de peces en las poblaciones en diferentes generaciones para ilustrar matemáticamente el efecto de la selección natural sobre el número de alelos que permanecen en una población. Los peces se colocaron en bases de madera giratorias de 29 cm de diámetro. El instructivo y hoja de registro del juego se presentan en el Anexo 6 y 7, respectivamente.

### Juego 3. Jugando a ser científico

Aislamiento de ADN de tejidos vegetales. Para esta actividad se realizó una extracción de ADN con material que se puede conseguir en casa, para lo cual se le proporcionó a cada equipo un kit con el material necesario para llevar esta actividad (vaso graduado, tubos de ensayo o frascos de vidrio, varilla estrecha o palillos de madera, bolsa de plástico), así como fresas, sal, detergente líquido, ablandador de carne o jugo de piña, alcohol etílico 70-95%. El instructivo del juego se presenta en el Anexo 8.

Observación de ADN: Para esta actividad se contó con el apoyo de equipo del laboratorio de Biología Molecular de la ENES Unidad Morelia, UNAM, así como de la asistencia técnica para el manejo del equipo. La actividad consistió en llevar a cabo una electroforesis de ADN, la cual se visualizó posteriormente en un fotodocumentador portátil. Durante esta práctica también se mostró el equipo necesario para llevar a cabo una reacción en cadena de la Polimerasa (PCR), para la generación de millones de copias de un fragmento de ADN con un termociclador móvil conectado a una computadora para la visualización de la generación de copias de ADN en tiempo real. El objetivo de esta actividad fue brindar una experiencia de investigación real en biología molecular a los alumnos.

#### Juego 4. Manipulando el ADN

En este juego, los alumnos simularon la manipulación de un gen, para lo cual, se entregó a cada equipo: una secuencia de nucleótidos impresa en un papel de 90 cm de largo x 8 cm de ancho, 3 secuencias cortas de color que representaban tres opciones del gen que se modificaría, tijeras (con la leyenda “enzima de restricción”) y pegamento en barra (con la leyenda “ligasa”). El instructivo del juego se presenta en el Anexo 9.

#### Juego 5. Descifrando la información genética: ¿Cómo secuenciamos el ADN?

Para este juego se elaboraron piezas de madera de distintas medidas (de 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm y 30 cm); las piezas se pintaron en los extremos (5 cm) con los colores que representan los cuatro nucleótidos (Adenina-verde, Timina-rojo, Citocina-azul y Guanina-negro), con el fin de formar una escalera y deducir la secuencia de nucleótidos de un fragmento de ADN. El instructivo y hoja de registro de secuencias del juego se presentan en los Anexos 10 y 11, respectivamente.

Para la estrategia de enseñanza situada de Aprendizaje Basado en Casos (ABC), se diseñó un estudio de caso siguiendo las recomendaciones de los autores: Díaz (2003); Díaz (2006) y García (2014), los cuales sugieren tomar en cuenta el contexto del alumno, abordar problemas reales, incluir textos científicos y páginas con textos



y videos documentales, así como plantear preguntas para que el alumno analice el tema y reflexione sobre este. En este estudio de caso se habla del lago de Pátzcuaro y de los problemas de contaminación que presenta, además de presentar nueva información sobre la biotecnología como la biorremediación, la manipulación del ADN y los organismos transgénicos. Es importante mencionar que el caso se basa en datos científicos, en páginas informativas y en videos documentales (ver Anexo 12).

### **7.5. Instrumentos para recopilar datos.**

Para la colecta de datos se utilizaron instrumentos cuantitativos como un examen de 20 preguntas de opción múltiple, y un ensayo que se evaluó con el apoyo de una rúbrica para obtener valores objetivos y precisos sobre el aprendizaje real de los estudiantes. Ambas evaluaciones se aplicaron antes y después de usar las estrategias de enseñanza propuestas en el presente trabajo. En total, se trabajó con cuatro grupos y en todos se aplicó la misma prueba con el fin de poder comparar los resultados y conocer si el uso de las estrategias de enseñanza propuestas mejoran el aprendizaje.

En el caso de la obtención de datos cualitativos, se utilizó una encuesta de diez preguntas de opción múltiple para conocer la percepción y opinión del alumno de las estrategias desarrolladas en su grupo. En los cuatro grupos se aplicó la misma encuesta, con el objetivo de conocer si existe alguna tendencia en cuanto a las preferencias de los alumnos, ya que en cada uno de los grupos se trabajaron estrategias de enseñanza diferentes.

Los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

- Cuestionario de preguntas de opción múltiple: para diseñar esta prueba, primero se buscaron preguntas estandarizadas sobre el tema de genética, biología molecular y biotecnología en libros de biología (Germán, Miranda,

Ortega, y Valenzuela, 2015; Mendoza y Mendoza, 2011), y de esta búsqueda inicial se seleccionaron 20 preguntas. Este cuestionario permite realizar una evaluación puntual de los conocimientos declarativos de los alumnos (ver Anexo 13).

- Ensayo: como parte de la evaluación, al final de la prueba de opción múltiple se agregó una pregunta abierta, sobre la cual el alumno debe reflexionar ya elaborar un ensayo. Se señaló que el ensayo debía incluir el desarrollo de una propuesta para resolver un problema ambiental con estrategias biotecnológicas, e incluir una discusión crítica sobre los riesgos y beneficios de su propuesta. La estructura propuesta para la elaboración del ensayo, permite por tanto, evaluar además de la integración de conceptos, el desarrollo de un pensamiento crítico y reflexivo. La evaluación del ensayo se realizó mediante una rúbrica basada en el autor Díaz (2006) (ver Anexo 14).
- Encuesta de opinión: la encuesta se diseñó para conocer la percepción y opinión de los alumnos sobre la dinámica de trabajo en grupo. Este cuestionario nos permite conocer la importancia de integrar estrategias atractivas y que motiven al alumno en el proceso de enseñanza y aprendizaje (Delgado et al., 2010; Jiménez, 2010) (ver Anexo 15).
- Diario del docente: el docente registró notas de cada clase siguiendo un formato libre que contenía la fecha, el grupo y una breve descripción de como se había desarrollado la clase desde su apertura hasta su cierre, estas notas permitieron conocer a los grupos de una manera más particular (Jiménez, 2010).

## 7.6. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos con la prueba de opción múltiple y del ensayo se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con error tipo III, que permite comparar distintos tratamientos con diferente tamaño de muestra, debido a que en el presente trabajo se trabajó con cuatro grupos con número diferente de alumnos. Este análisis permitió obtener las diferencias significativas entre los tratamientos y conocer la eficiencia de las estrategias propuestas para la enseñanza del tema biotecnología en términos cuantitativos. El modelo utilizado consideró la calificación inicial, calificación final y ganancia en puntos como variables dependientes o de respuesta, y a los grupos (control, juegos, ABC y juegos\_ABC) como variable independiente o fija. Los análisis para cada variable se realizaron de manera independiente con uso del programa SAS (GLM Procedure: SAS Institute, 2017).

Finalmente se presenta un diagrama de flujo (Figura 1) que permite observar de una manera más concreta el método que se siguió a lo largo de la presente investigación. La organización del mismo se encuentra de acuerdo al orden en que se realizó cada uno de los pasos que culminaron en los resultados que se presentan posteriormente.

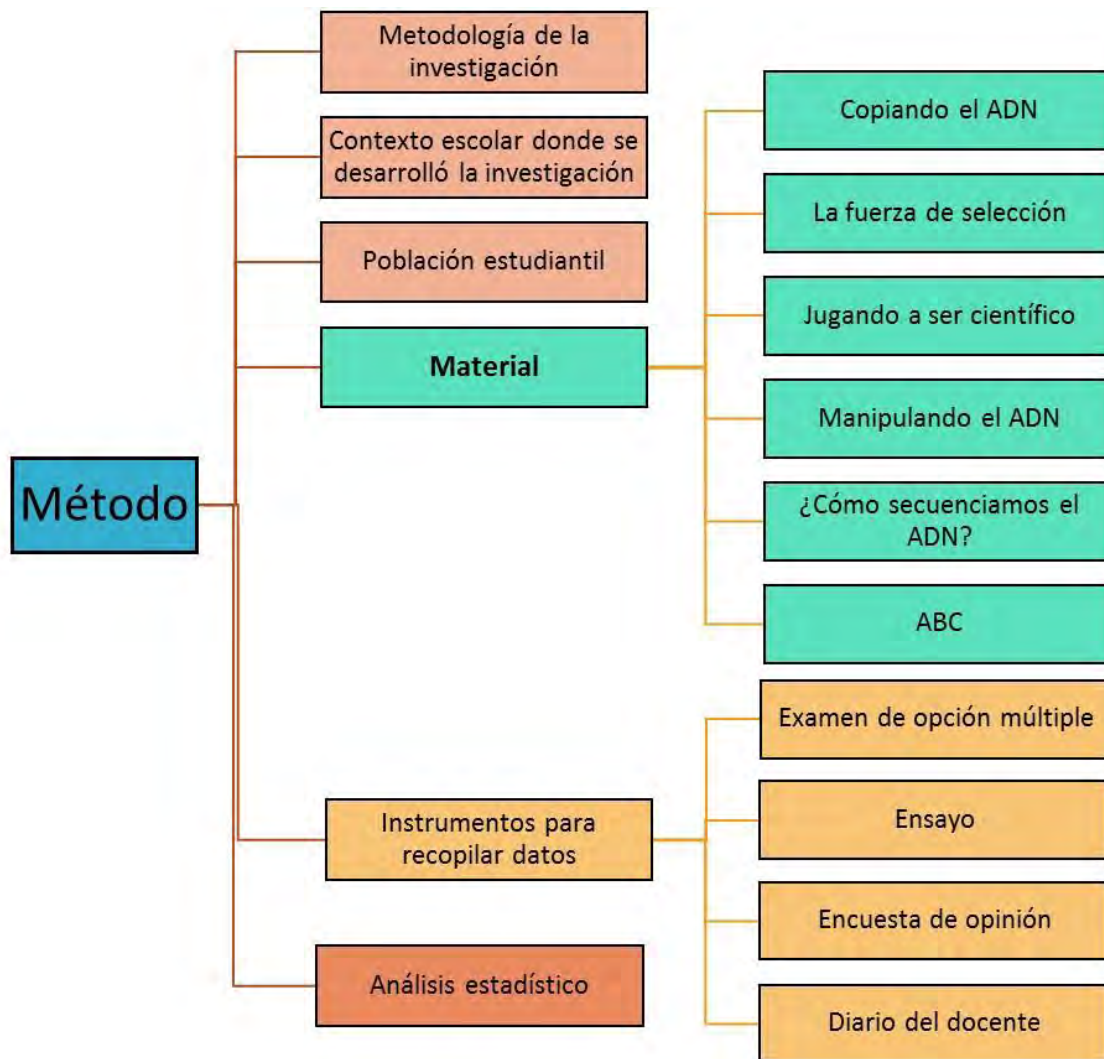


Figura 1. Diagrama de flujo del método de la investigación.

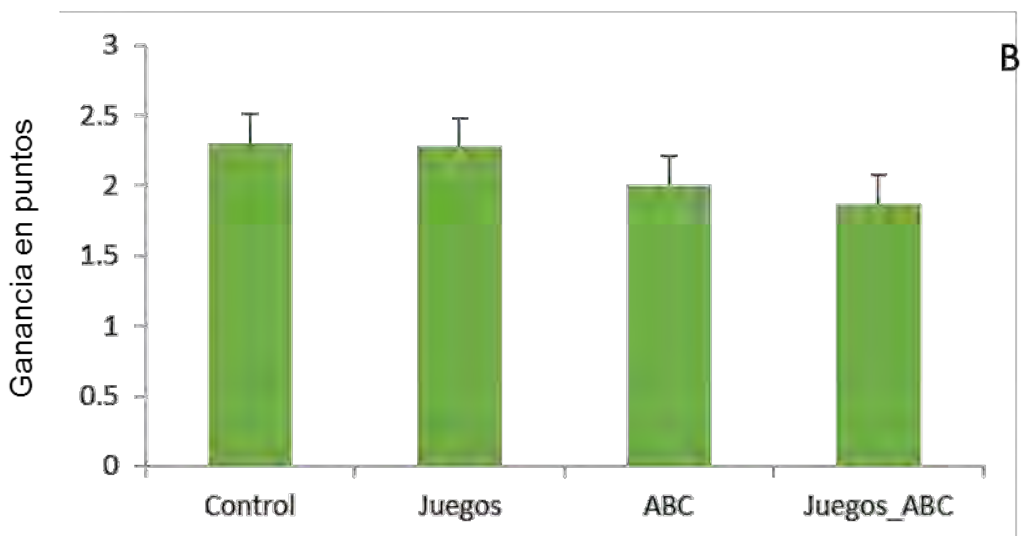
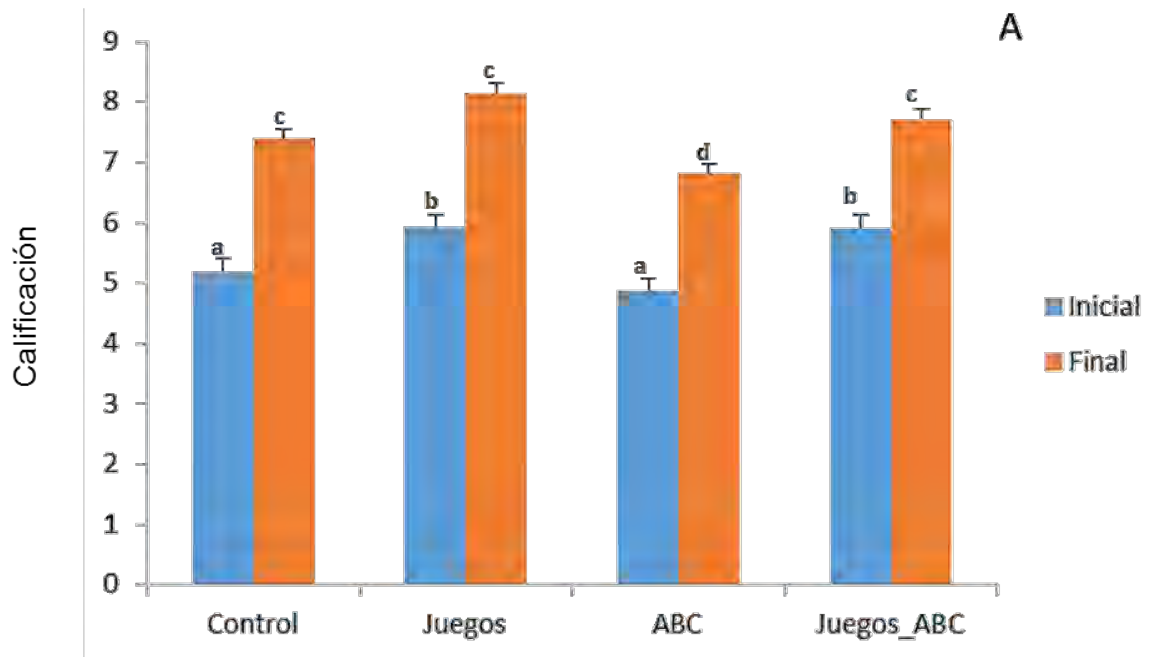
## **8. Resultados**

A continuación se presentan los datos y análisis realizados en la presente investigación. En la primera parte se presentan los resultados cuantitativos producto de un examen diseñado con veinte preguntas de opción múltiple y un ensayo que se aplicó antes y después de abordar el tema de biotecnología. En la segunda parte se presentan los resultados cualitativos obtenidos a partir de las notas del diario del docente y de una encuesta de opinión de diez preguntas aplicada a los alumnos al concluir las actividades de la intervención pedagógica.

### **8.1. Resultados cuantitativos**

#### **8.1.1. Prueba de opción múltiple**

El análisis estadístico de la calificación inicial nos indica que hubo diferencias significativas entre grupos ( $F_{155, 3} = 5.74$ ,  $P = 0.001$ ). El grupo Control y el grupo ABC mostraron la menor calificación inicial ( $5.18 \pm 0.288$ ,  $4.86 \pm 0.219$ ; respectivamente), mientras que los grupos Juegos y Juegos\_ABC presentaron mayor calificación final ( $5.91 \pm 0.214$ ,  $5.905 \pm 0.228$ ; respectivamente) (Figura 2A). Respecto a la calificación final, los resultados del análisis indican diferencias significativas entre grupos ( $F_{157, 3} = 10.64$ ;  $P < 0.0001$ ), donde el grupo ABC presentó menor calificación ( $6.18 \pm 0.173$ ) en comparación con los grupos Control ( $7.38 \pm 0.17$ ), Juegos ( $8.14 \pm 0.169$ ) y Juegos\_ABC ( $7.716 \pm 0.180$ ) (Figura 2A). Sin embargo, cuando se compara el aprendizaje de cada alumno evaluado en términos de ganancia en puntos, el análisis de varianza nos muestra que no existe diferencia significativa entre los grupos ( $F_{155, 3} = 0.99$ ,  $P = 0.4010$ ; Figura 2B), indicando que las estrategias de enseñanza no tuvieron un efecto sobre el aprendizaje de los alumnos.



**Figura 2. Resultados de la evaluación con el examen de opción de múltiple.** A) Comparación de calificaciones del examen inicial y final; B) Aprendizaje medido como ganancia en puntos entre el examen inicial y final. La calificación se presenta en escala de 0-10. Control= grupo control con enseñanza basada en exposición de temas con diapositivas; Juegos = grupo con enseñanza basada en actividades lúdicas; ABC = grupo con enseñanza basada en aprendizaje situado de estudio casos; Juegos\_ABC grupo con enseñanza basada en combinación de estrategias. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas con valores de  $P > 0.03$ .

El análisis detallado de la evaluación del examen de opción múltiple (Tabla 1), indica que dos preguntas (1, 11) mostraron un alto porcentaje de aciertos desde el examen inicial. En particular, la pregunta 5 (Tabla 1) mostró un bajo porcentaje de aciertos en los cuatro grupos evaluados, tanto en la prueba inicial como en la final, indicando que los alumnos probablemente no entendieron la pregunta, mientras que algunas preguntas (2, 17, 19) mostraron una disminución en el porcentaje de aciertos en la evaluación final, lo cual provee evidencia que los alumnos eligieron algunas respuestas al azar, y sugiere que una evaluación con exámenes de opción múltiple, puede no reflejar el aprendizaje real de los alumnos.

**Tabla 1. Porcentaje de alumnos que respondieron correctamente por pregunta**

Pregunta		Control		Juego		ABC		Juego_ABC	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Conocimientos básicos del tema genética.	1.- El hecho de que los ojos de un individuo sean semejantes a los de su madre se debe a:	100.0	100.0	95.2	100.0	97.5	100.0	100.0	100.0
	2.- ¿Cómo se le llama a la unidad básica de la herencia?	82.1	92.3	78.6	100.0	82.5	90.0	89.2	83.8
	3.- Los genes están conformados por:	41.0	74.4	83.3	90.5	50.0	57.5	73.0	81.1
	4.- Señale el inciso que da continuidad a la serie: Nucleótido - ADN – gen	30.8	74.4	47.6	85.7	52.5	57.5	70.3	70.3
	5.- Indique cuáles de los siguientes puntos corresponden al ADN:	0.0	15.4	2.4	14.3	0.0	25.0	0.0	21.6
	6.- Señale la opción que no corresponde al conjunto:	23.1	66.7	33.3	97.6	17.5	62.5	40.5	83.8
	7.- ¿Cómo se denomina el proceso de copia de una molécula de ADN, que resulta en dos moléculas de ADN exactamente iguales?	41.0	82.1	50.0	83.3	42.5	75.0	59.5	81.1
	8.- En el proceso de replicación semiconservativa, cada molécula de ADN posee:	51.3	100.0	54.8	92.9	57.5	90.0	51.4	86.5
Conocimientos básicos del tema selección natural y adaptación	9.- A las versiones diferentes de un mismo gen se les denomina:	28.6	76.2	8.1	48.6	7.5	47.5	20.5	53.8
	10.- Al cambio espontáneo o inducido en la secuencia del ADN se le llama:	78.6	95.2	81.1	100.0	65.0	82.5	61.5	89.7
	11.- Proceso por el cual un ser vivo puede sobrevivir en diferentes ámbitos, con características desiguales entre ellos, sin ver afectada su anatomía, o en el caso del ser humano, su sistema psicológico.	90.5	95.2	83.8	100.0	92.5	97.5	94.9	100.0
Conocimientos del tema biotecnología	12.- Mediante la tecnología del ADN recombinante ha sido posible:	59.5	88.1	62.2	67.6	30.0	65.0	61.5	66.7
	13.- El uso de organismos vivos o sus derivados en la elaboración o modificación de procesos o productos se denomina:	83.3	100.0	81.1	94.6	75.0	95.0	79.5	79.5
	14.- Los siguientes son procesos de biotecnología, excepto:	31.0	42.9	32.4	75.7	27.5	50.0	35.9	82.1
	15.- ¿Cuál de los siguientes es un ejemplo de lo que ha logrado la biotecnología en la industria?	66.7	95.2	67.6	70.3	47.5	67.5	61.5	89.7
	16.- La modificación genética de una planta es un ejemplo de:	73.8	95.2	81.1	86.5	70.0	82.5	76.9	61.5
	17.- En el arroz dorado, las plantas han sido modificadas por inserción de dos genes que tienen por efecto final la producción y acumulación del beta-caroteno en los granos. El proceso mediante el cual se consigue esto se llama:	47.6	69.0	27.0	54.1	40.0	30.0	33.3	56.4
	18.- La cruce selectiva, el congelamiento de espermatozoides y de embriones, la inseminación artificial y la creación de madres sustitutas son prácticas comerciales rutinarias efectuadas en mamíferos que han permitido a los ganaderos criar -y literalmente crear- especímenes de alta calidad y productividad. Estas actividades son ejemplos de:	40.5	71.4	37.8	73.0	42.5	52.5	51.3	56.4
	19.- La introducción de un rasgo novedoso en un organismo (p. ej. la inserción del gen humano de la insulina en el genoma de la bacteria <i>Escherichia coli</i> ) es un ejemplo de:	50.0	40.5	43.2	56.8	32.5	47.5	28.2	51.3
	20.- ¿Cómo se denomina el estudio sistemático de la conducta humana, respecto de valores y principios morales en la biología?	83.3	95.2	86.5	97.3	55.0	87.5	71.8	84.6

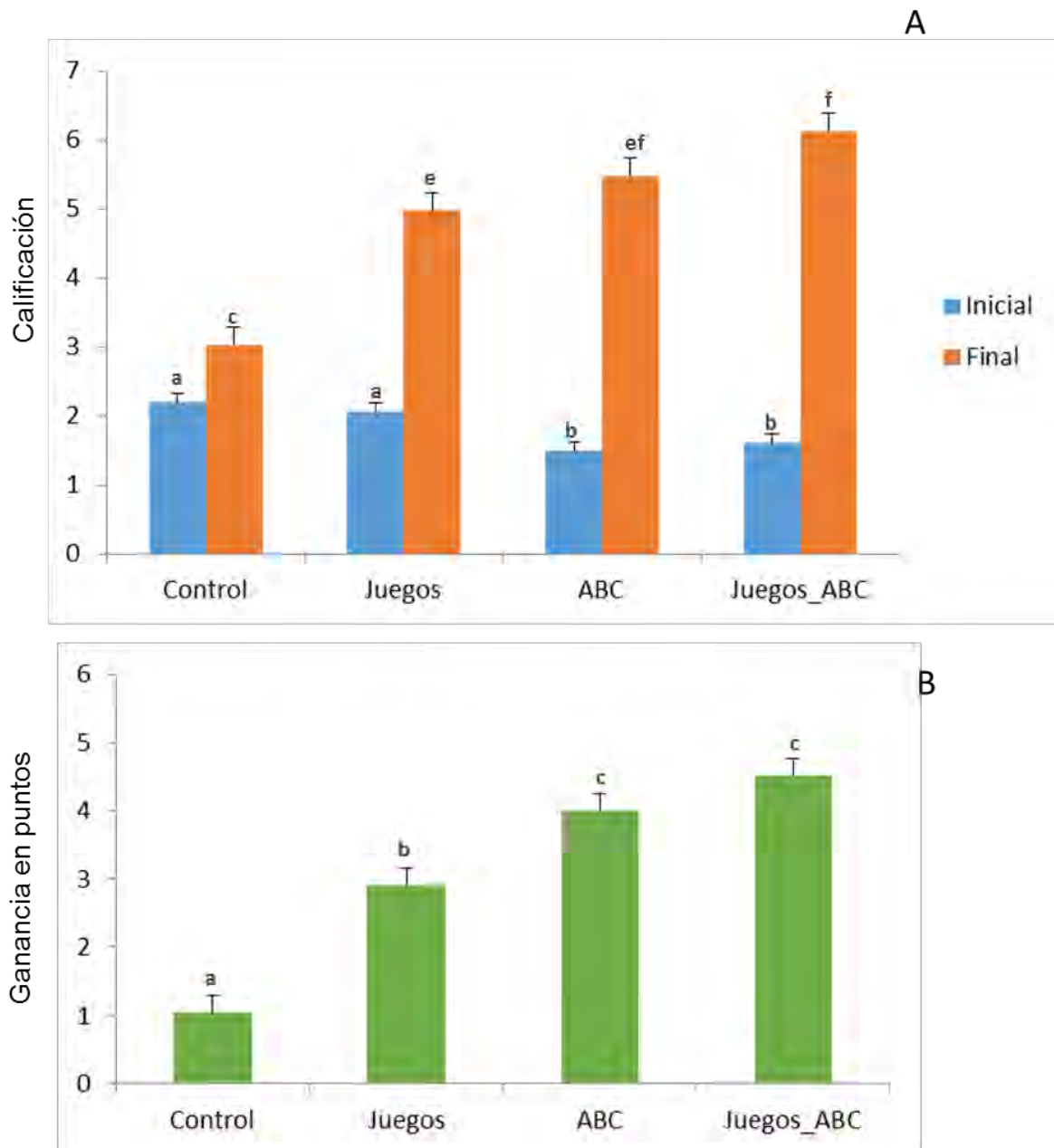


### 8.1.2. Ensayo

Los resultados de la evaluación de la pregunta abierta donde el alumno debía elaborar un ensayo, indican que existen diferencias significativas en la calificación inicial entre los grupos ( $F_{156, 3} = 6.56$ ,  $P = 0.0003$ ). Los grupos que mostraron menor calificación inicial fueron el grupo ABC y el grupo Juegos\_ABC ( $1.48 \pm 0.134$ ,  $1.60 \pm 0.139$ ; respectivamente), mientras que los grupos Control y Juegos presentaron una mayor calificación ( $2.19 \pm 0.137$ ,  $2.07 \pm 0.13$ ; respectivamente). De igual manera, la calificación final presentó diferencias significativas entre grupos ( $F_{157, 3} = 26.93$ ,  $P < 0.0001$ ). El grupo con la menor calificación corresponde al grupo control ( $3.02 \pm 0.256$ ). Los grupos Juegos y ABC no mostraron diferencias significativas en la calificación final ( $4.97 \pm 0.247$ ,  $5.48 \pm 0.253$ ; respectivamente), aunque esta fue mayor que la calificación obtenida por el grupo control ( $3.02 \pm 0.256$ ). Finalmente el grupo con mayor calificación final fue el grupo Juegos\_ABC ( $6.128 \pm 0.263$ ) (Figura 3A). Es importante mencionar que los tres grupos donde se implementaron estrategias de enseñanza complementarias a la exposición con diapositivas, tuvieron una mayor calificación que el grupo control (Fig. 3A). Sin embargo, la calificación final fue reprobatoria en dos de los grupos en los que se usaron estrategias de enseñanza complementarias a la exposición con diapositivas: juegos y ABC; sólo el grupo Juegos\_ABC obtuvo una calificación aprobatoria promedio de 6.12, la cual podría considerarse baja.

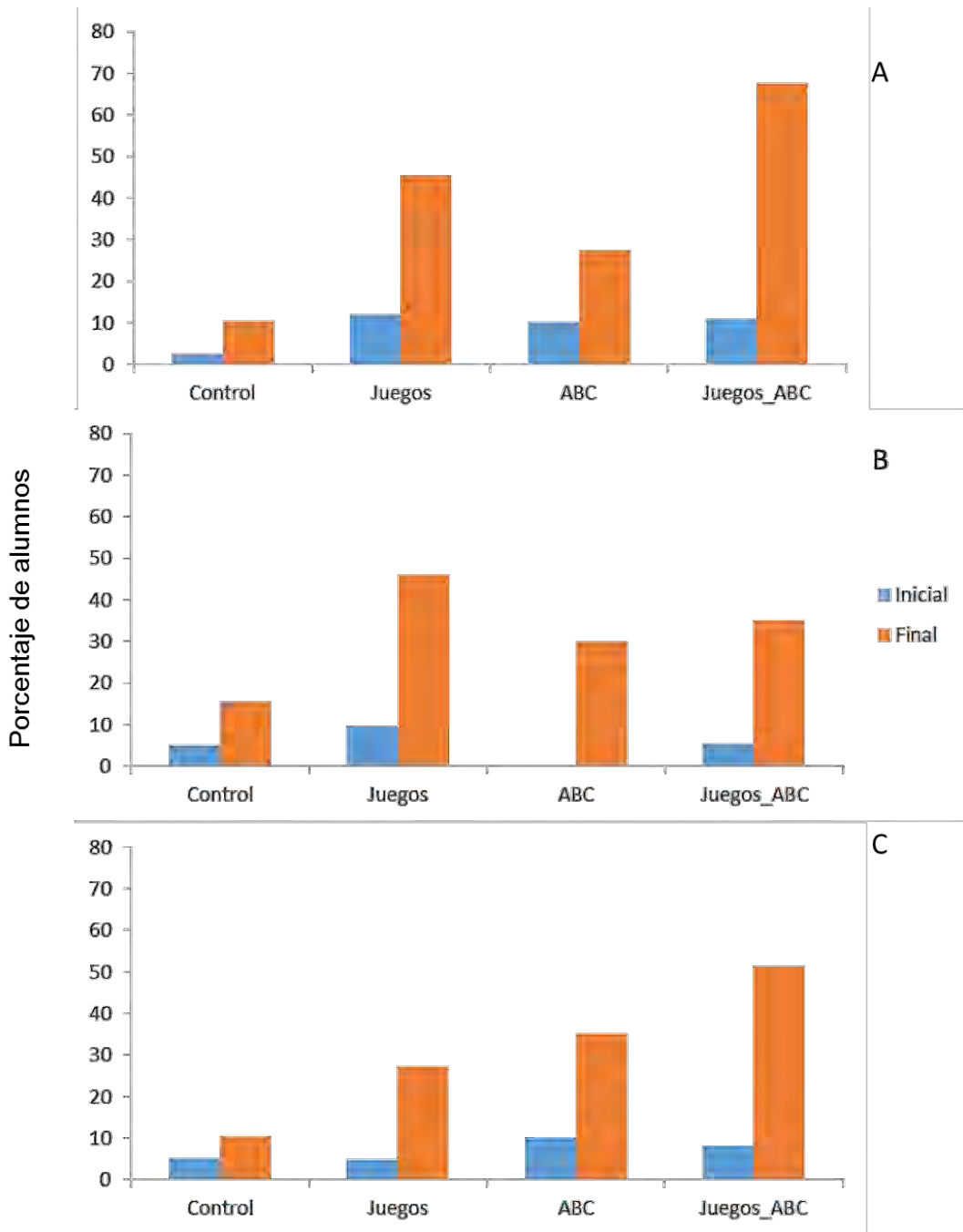
Debido a que los grupos presentaron diferencias significativas en la calificación inicial, el aprendizaje se evaluó en términos de ganancia en puntos por alumno. Los resultados de este análisis indican que al igual que lo observado en el análisis de la calificación final, la ganancia en puntos por alumno presentó diferencias significativas entre grupos ( $F_{156, 3} = 37.16$ ,  $P < 0.0001$ ), donde el grupo control tuvo la menor ganancia en puntos ( $1.03 \pm 0.252$ ) respecto a los grupos juegos ( $2.91 \pm 0.239$ ), ABC ( $3.99 \pm 0.246$ ) y Juegos\_ABC ( $4.59 \pm 0.255$ ). Es importante mencionar que la implementación de estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos, tanto de manera individual como en combinación, resultó en mayor ganancia en

puntos respecto al grupo control (Figura 3B), aunque la ganancia en puntos fue significativamente mayor en los grupos ABC y Juegos ABC, los cuales no mostraron diferencia significativa entre ellos (Figura 3B).



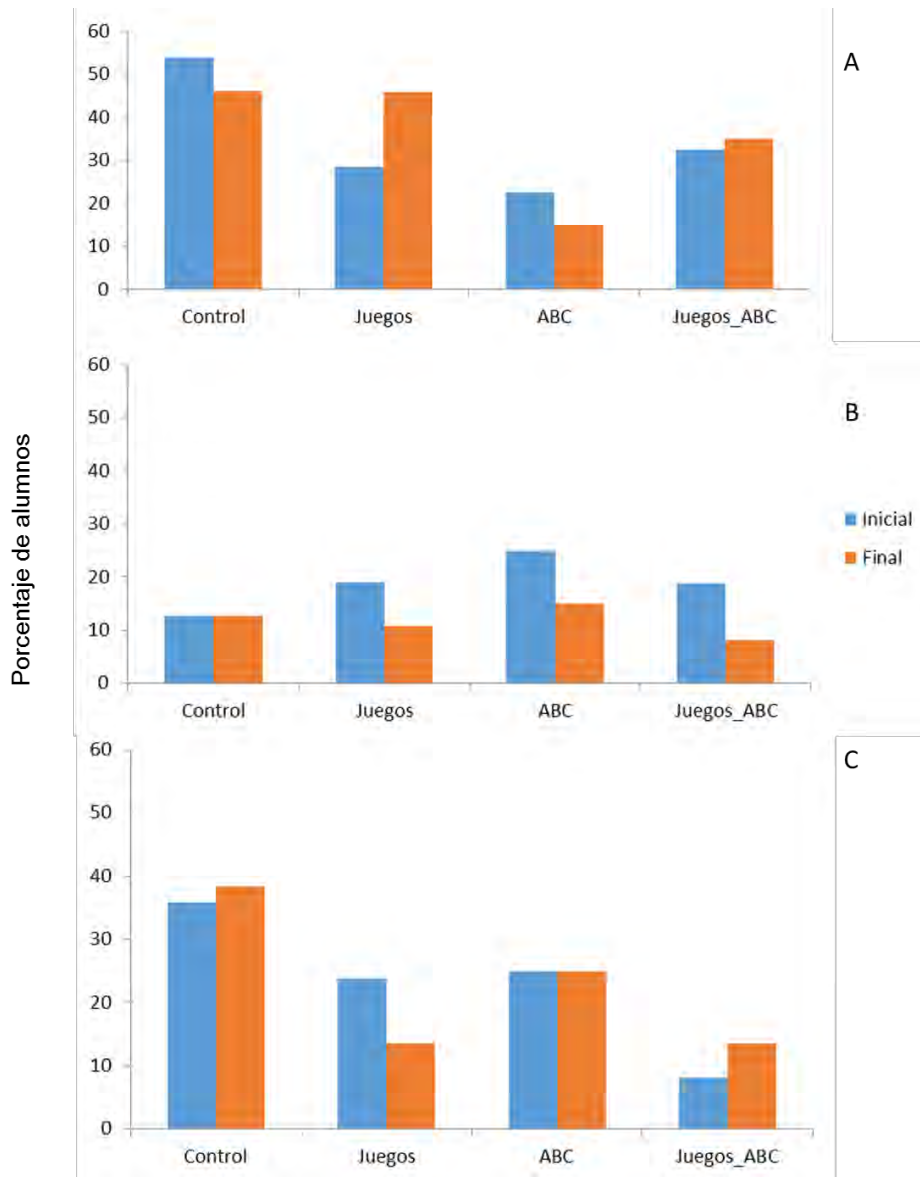
**Figura 3. Resultados de la evaluación con ensayo.** A) Comparación de calificaciones del examen inicial y final; B) Aprendizaje medido como ganancia en puntos entre el examen inicial y final. La calificación se presenta en escala de 0-10. Control= grupo control con enseñanza basada en exposición de temas con diapositivas; Juegos = grupo con enseñanza basada en actividades lúdicas; ABC = grupo con enseñanza basada en aprendizaje situado de estudio casos; Juegos\_ABC grupo con enseñanza basada en combinación de estrategias. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas con valores de  $P > 0.02$ .

El instrumento de evaluación de la pregunta abierta por ensayo además de evaluar conocimientos conceptuales, permitió evaluar el desarrollo de aptitudes importantes en la formación académica de los alumnos, tales como habilidades de investigación, creatividad y ética. En particular, los resultados de este estudio, sugieren que las estrategias de Juegos y ABC, tanto de manera individual como combinada, tienen un efecto positivo sobre el desarrollo de las tres aptitudes evaluadas, donde el grupo Juegos presenta mayor creatividad (Figura 4B) respecto al grupo control. Por su parte, el grupo Juegos\_ABC presentó mayor desarrollo en las habilidades de investigación y ética (Figura 4 A, C).



**Figura 4. Comparación de aptitudes reflejadas en el ensayo.** A) Investigación; B) Creatividad; C) Ética. Control= grupo control con enseñanza basada en exposición de temas con diapositivas; Juegos = grupo con enseñanza basada en actividades lúdicas; ABC = grupo con enseñanza basada en aprendizaje situado de estudio casos; Juegos\_ABC grupo con enseñanza basada en combinación de estrategias.

Además del desarrollo de aptitudes, el ensayo también permitió evaluar los diferentes perfiles vocacionales de los alumnos: naturalista, ingeniería y social, lo cual puede representar una herramienta valiosa para acceder a información importante sobre los intereses de los alumnos. En general, los resultados indican que ninguna de las estrategias de enseñanza implementadas tiene un efecto importante sobre la orientación vocacional de los alumnos, que está más relacionada con intereses personales que con el aprendizaje de un tema en particular (Fig 5 A, B y C), pero estos resultados nos permiten confirmar que el desarrollo de habilidades de investigación, creatividad y ética que detectamos en los grupos en los que se implementaron las estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos, no están relacionadas con la orientación vocacional de los alumnos, ni con la preferencia de los alumnos por las ciencias naturales.



**Figura 5. Comparación de perfiles vocacionales reflejados en el ensayo.** A) Naturalista; B) Ingeniería; C) Social. Control= grupo control con enseñanza basada en exposición de temas con diapositivas; Juegos = grupo con enseñanza basada en actividades lúdicas; ABC = grupo con enseñanza basada en aprendizaje situado de estudio casos; Juegos\_ABC grupo con enseñanza basada en combinación de estrategias.

## 8.2. Resultados cualitativos

### 8.2.1. Diario del docente

Para evaluar la aceptación de las estrategias de enseñanza utilizadas, así como para registrar situaciones importantes y características de los grupos, se analizó el diario del docente y los resultados de una encuesta de opinión aplicada a los alumnos al finalizar la intervención pedagógica. A continuación, se describen las características generales y situaciones que se dieron durante las dos semanas en las que el profesor trabajó con los grupos.

En el caso del grupo control se observó un ambiente tenso entre los alumnos, es decir, se observó una mala relación, reflejada en el ordenamiento del grupo el cual eran siempre equipos fragmentados, que en muchas ocasiones se atacaban haciendo comentarios negativos. Sin embargo, cuando el docente les pedía un buen comportamiento, reaccionaban positivamente y siempre se mostraron respetuosos con la profesora, por lo que la relación profesor – alumno, se dio con armonía y respecto, favoreciendo el aprendizaje. En cuanto al comportamiento de este grupo durante las clases, los alumnos siempre estaban atentos a las diapositivas, tomaban notas y hacían preguntas sobre el tema. Sin embargo, es importante resaltar que aunque los alumnos prestaron atención y mostraron interés por el tema y las clases, también manifestaron estar en desacuerdo con la estrategia de enseñanza, como se puede apreciar en los siguientes comentarios:

*“Cambiar en algo las diapositivas e incluir gráficas porque aburren tantas diapositivas pero la explicación estuvo bien” (Héctor RM)*

*“Es una maestra buena y tiene un buen trato pero le hace falta hacer actividades para llamar la atención a la clase” (Arantzazu PO)*

*“Más actividades para así comprender aún más las estructuras de la célula, moléculas etc...” (Cinthya EH)*

En lo que respecta al grupo en el que además de la exposición con diapositivas se implementaron actividades lúdicas (grupo Juegos), en general, los alumnos de este grupo fueron muy inquietos desde el inicio, ya que platicaban y se movían mucho de su lugar. En varias ocasiones el docente pidió guardar silencio y poner atención, pero los alumnos atendieron las indicaciones con buena actitud, aunque se distraían fácilmente. A pesar de esto, tanto la relación grupal, como el ambiente de trabajo fue de respeto y cordialidad en todo momento; esta actitud ayudó al momento de realizar las dinámicas, debido a que los alumnos se mostraron muy interesados y activos, tanto, que en muchas ocasiones no daba tiempo y la clase terminaba unos minutos después. En este caso también es importante resaltar que aunque el grupo se observó contento, los alumnos también hicieron algunos comentarios que consideran mejorarían la clase:

*“Más, más dinámicas y más tiempo para hacerlas” (María ST)*

*“Un poco más de lentitud para comprender mejor el tema” (Diana CA)*

*“El lenguaje utilizado, que sea más claro y menos científico” (Vannesa SC)*

En el grupo en el que se implementó la estrategia de enseñanza de aprendizaje basado en casos (grupo ABC), se pudo observar una gran diversidad de personalidades, desde alumnos muy inquietos (moviéndose todo el tiempo, hablando mucho y queriendo participar siempre), hasta alumnos muy tranquilos (aislados y callados). Sin embargo, cuando la profesora les pedía poner atención lo hacían con respeto. En este grupo en particular se dio una situación un poco complicada, ya que los alumnos manifestaron su disgusto por la clase, ya que en general consideraban que era sólo teoría y les molestaba que con otros grupos se estuviera jugando y con ellos no. El día que manifestaron su inconformidad, se sintió tensión entre el grupo y el docente, ya que estuvieron muy serios y molestos durante esta sesión. Al respecto, el docente habló con ellos amablemente y les explicó la razón por la que con ellos se trabajaba de esa manera, al parecer los alumnos comprendieron, y en la siguiente clase ya no se sintió tensión en el grupo, por lo



que se pudo trabajar en armonía y respeto. En las encuestas de opinión los alumnos hicieron algunos comentarios con respecto a la sesión:

*“Más dinámicas porque creo que demasiada información por fácil que este es difícil asimilar” (Vanessa PS)*

*“Me gustaría que haya más dinámicas como experimentos o juegos, ya que estos temas son muy interesantes” (Citlalli AC)*

*“Me gustaría prácticas en el laboratorio, lo demás el caso y sus videos fueron interesantes, aprendí mucho” (Gladis PC)*

Finalmente, en el grupo que se implementó la combinación de estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos (grupo juegos\_ABC), se observó que los alumnos eran muy participativos, pero al mismo tiempo distraídos, y que al momento de preguntar o comentar algo, se desviaban mucho el tema haciendo preguntas o comentarios descontextualizados, que quitaban tiempo a la clase, por lo que en más de una ocasión se terminaba la sesión unos minutos más tarde. Esta situación hizo importante cuidar en cada clase que los alumnos no se desviaran del tema que se abordaba en ese momento. En cuanto al comportamiento de los alumnos, en general se observó que la mayoría ponían atención cuando se les daba una explicación y participaban con respeto; también se observó una armonía y unión grupal, haciendo claro que el dinamismo de los alumnos ayudó para que el desarrollo de las actividades lúdicas y la solución del ABC se realizarán correctamente, ya que todos los alumnos participaron en todas las actividades. En general, en las encuestas de opinión los alumnos manifestaron gusto por cómo se dio la clase y sólo mencionaron que ellos destinarían más tiempo a la realización de las actividades para mejorar las clases:

*“Más tiempo, para que todo sea mejor” (Ruth CR)*

*“Nada todo me gusto, la maestra es amable” (Dulce RC)*

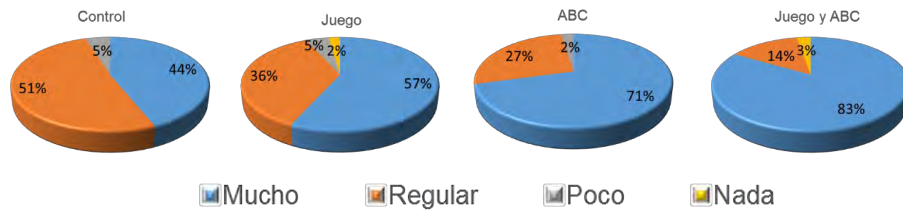
*“No cambiaría nada, para mí fue bastante reconfortante, divertida e interesante este tema” (Erika VG)*

### 8.2.2. Encuesta de opinión

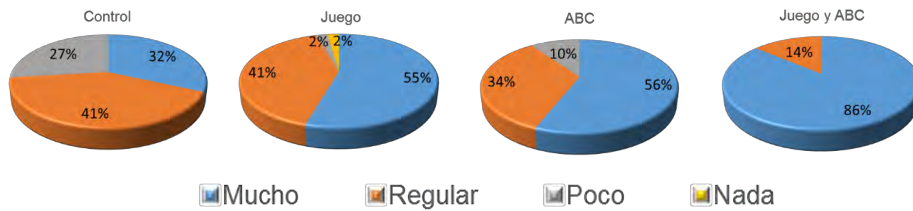
Lo observado por el docente en el desarrollo de las actividades se ve reflejado en los resultados de una encuesta de opinión, diseñada para medir la satisfacción de los alumnos en los diferentes grupos respecto a las dinámicas implementadas en el salón de clases. La encuesta consistió de 10 preguntas con respuestas de opción múltiple en escalas de mucho, regular, poco y nada. A continuación se describen los patrones identificados en las respuestas de los alumnos de los cuatro grupos:

Las preguntas 1, 2, 3, 6 y 10 muestran un patrón en donde la respuesta “mucho” va en aumento en el siguiente orden: grupo control, juegos, ABC, juegos\_ABC (Figura 6), es decir, el interés, la claridad y el entendimiento por el tema aumenta y se obtiene el mejor resultado donde se implementa una combinación de estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos (grupo Juegos\_ABC).

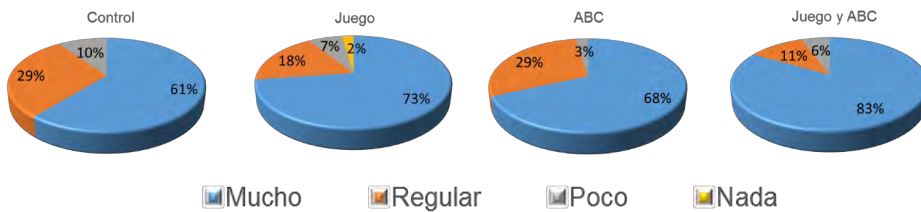
Pregunta 1 ¿Te gustó el tema de biotecnología que se abordó en clases?



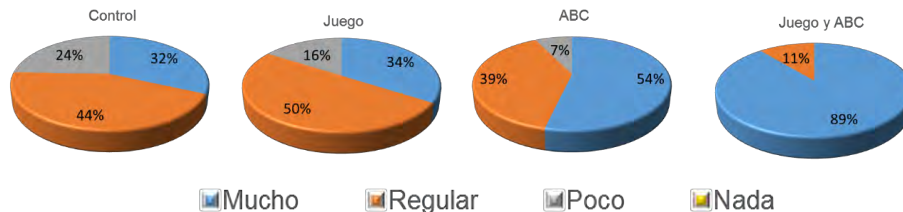
Pregunta 2 ¿Consideras que las clases fueron interesantes?



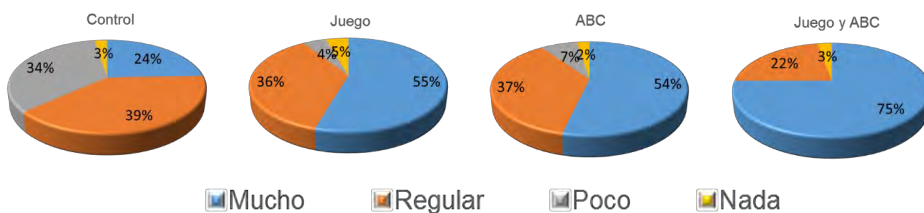
Pregunta 3 ¿Qué tan útil consideras lo que aprendiste en estas clases?



Pregunta 6 Cuando la maestra explicaba ¿Te quedaba claro lo que decía?



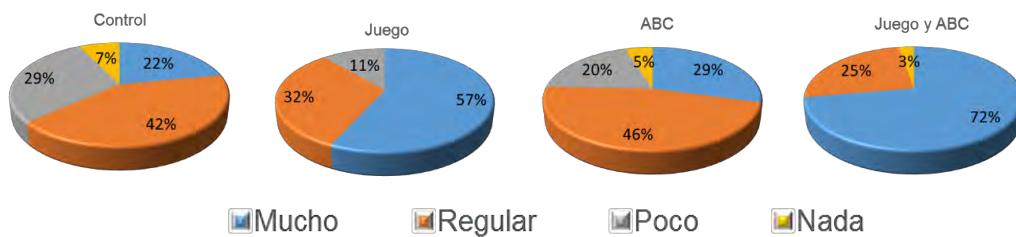
Pregunta 10 ¿Tú interés por el tema ha aumentado como resultado de las actividades que realizaste?



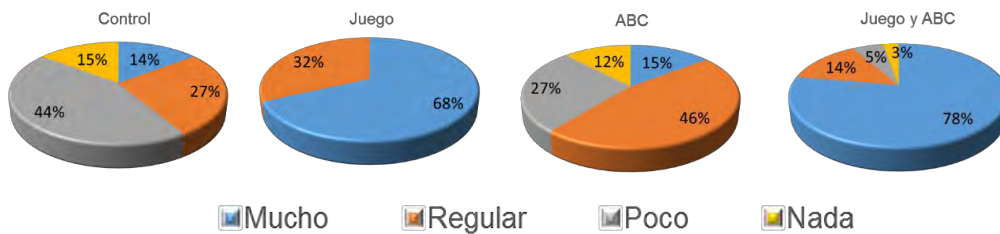
**Figura 6. Respuestas de la encuesta de opinión, de las preguntas 1, 2, 3, 6 y 10.** De los cuatro grupos: Control = grupo control con enseñanza basada en exposición de temas con diapositivas; Juegos = grupo con enseñanza basada en actividades lúdicas; ABC = grupo con enseñanza basada en aprendizaje situado de estudio casos; Juegos\_ABC grupo con enseñanza basada en combinación de estrategias.

En el segundo grupo de respuestas (preguntas 4, 8 y 9) de la encuesta realizada a los alumnos, es posible observar que las estrategias de enseñanza que se utilizaron para abordar el tema de biotecnología no fueron del agrado de los alumnos del grupo control y del grupo donde se utilizó el aprendizaje basado en casos (grupo ABC), mientras que los alumnos de los grupos donde se aplicaron estrategias lúdicas, tanto de manera individual como en combinación con el estudio de caso, mostraron altos niveles de aceptación (Figura 7).

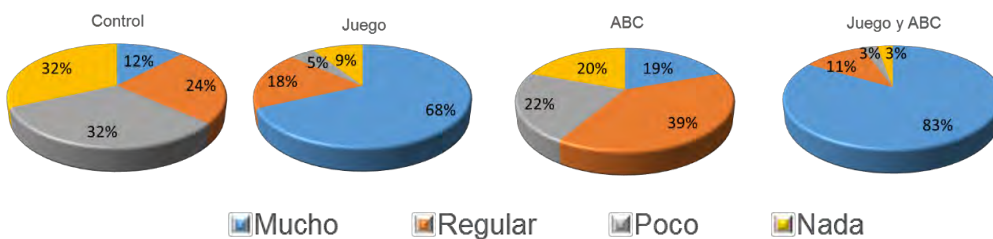
Pregunta 4 ¿Te gustó como se dieron las clases?



Pregunta 8 ¿Te gustaron las actividades que se utilizaron para ver el tema?



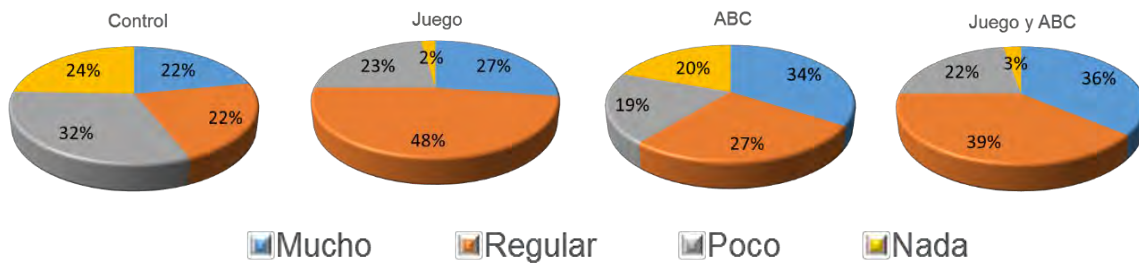
Pregunta 9 ¿Te gustaría que tus clases se aborden de esta manera con mayor frecuencia?



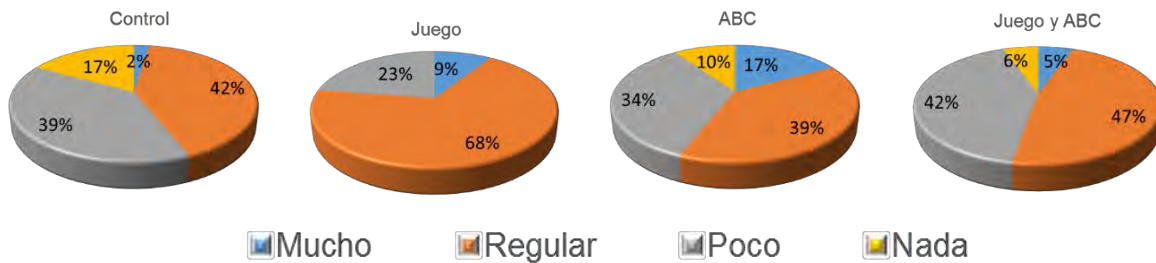
**Figura 7. Respuestas de la encuesta de opinión, de las preguntas 4, 8 y 9.** De los cuatro grupos: Control = grupo control con enseñanza basada en exposición de temas con diapositivas; Juegos = grupo con enseñanza basada en actividades lúdicas; ABC = grupo con enseñanza basada en aprendizaje situado de estudio casos; Juegos\_ABC grupo con enseñanza basada en combinación de estrategias.

Finalmente, las respuestas de la preguntas 5 y 7 indican que la participación y percepción de dificultad del tema no tienen relación con la estrategia de enseñanza implementada (Figura 8), aún cuando se observa que la participación aumenta moderadamente en los grupos donde se implementaron estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos respecto al grupo control, este incremento es moderado (Figura 8). En general, tanto la percepción del docente como las respuestas de los alumnos indican que hay una mayor motivación y aceptación en los grupos donde se implementó una estrategia de refuerzo a la enseñanza que en el grupo control.

**Pregunta 5 ¿Te gustaba participar durante las clases?**



**Pregunta 7 ¿Te pareció difícil el tema que se abordó?**



**Figura 8. Respuestas de la encuesta de opinión, de las preguntas 5 y 7.** De los cuatro grupos: Control = grupo control con enseñanza basada en exposición de temas con diapositivas; Juegos = grupo con enseñanza basada en actividades lúdicas; ABC = grupo con enseñanza basada en aprendizaje situado de estudio casos; Juegos\_ABC grupo con enseñanza basada en combinación de estrategias.

## 9. Discusión

Como resultado de los cambios en los Programas Educativos tanto internacionales como nacionales (la reciente Reforma Integral Educativa Media Superior en nuestro país como ejemplo), en la actualidad se pide al docente modificar la enseñanza predominantemente teórica, por una donde se integren estrategias que fomenten la construcción del conocimiento de los alumnos, en particular para la enseñanza de las Ciencias como la Biología que requiere el entendimiento de temas complejos. En la búsqueda de alternativas de enseñanza de temas biológicos complejos, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar si el uso combinado de estrategias de enseñanza atractivas y novedosas, como las estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos (ABC), mejora el aprendizaje del tema de Biotecnología y desarrolla habilidades críticas en alumnos de Bachillerato. En nuestro conocimiento, este representa el primer estudio que evalúa la combinación de estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos como estrategia de enseñanza que promueva un aprendizaje integral de Biología en alumnos de Bachillerato.

En general, los resultados obtenidos en este estudio indican que la combinación de las estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos mejora el aprendizaje de los alumnos, debido a que los grupos que las usaron obtuvieron calificaciones más altas y desarrollaron habilidades de integración y aplicación de conceptos, argumentación, pensamiento crítico y reflexivo, mostrando además mayor motivación e interés durante las actividades que el grupo control. Aunado a esto, los resultados también indican que al aplicarse de manera individual, tanto las estrategias lúdicas como las de aprendizaje basado en casos (ABC) mostraron un efecto positivo sobre el aprendizaje de los alumnos. Sin embargo, las estrategias lúdicas tuvieron un mayor impacto sobre la motivación e interés de los alumnos, mientras que la estrategia ABC presentó mejores resultados sobre el desarrollo de habilidades de integración de conceptos, argumentación y pensamiento crítico. Esto puede explicarse porque una enseñanza predominantemente teórica donde la

información que el alumno conoce se limita sólo a lo que el docente provee, disminuye drásticamente la curiosidad, interés y creatividad de los alumnos, aspectos fundamentales para entender asignaturas como la biología (Jiménez, González y Hernández, 2010), tal como sucedió con el grupo control de este estudio, el cual sólo recibió la información por parte del docente y se mostró poco interesado por el tema abordado. Por el contrario, si la enseñanza de temas científicos se basa en incrementar las actividades donde los alumnos desarrollan habilidades prácticas en clase dentro de los modelos de enseñanza colaborativos, la posibilidad de generar interés y motivación en ellos es mayor (Jaramillo y Puga, 2016; Jiménez et al, 2010), debido a que el uso de estrategias lúdicas les da a los alumnos mayor seguridad, así como una sensación de felicidad que les permite disfrutar lo que hacen y aprenden de una manera inconsciente; mientras que la solución del ABC fortalece la integración y discusión de conocimientos. En este sentido, tanto las actividades lúdicas como la solución de un estudio de caso que se aplicaron en este trabajo, representan alternativas psicopedagógicas valiosas, debido a que cada una de ellas atiende un aspecto diferente de los proceso de enseñanza y aprendizaje. Las actividades lúdicas son útiles en el proceso de enseñanza porque simplifican los conceptos y procesos biológicos, ya que al presentarle a los alumnos los conceptos en objetos que pueden manipular, la información se fija en el esquema cognitivo, eliminando la complejidad de abstracción de los procesos biológicos o moleculares que no se pueden ver (Amory, Naicker, Vincent, y Adams, 1999; Cheng, Chen, Chu, y Chen, 2015; Damián, 2014); mientras que los estudios de caso son útiles debido a que son diseñados con problemas reales y contextualizados, para que el alumno tenga el sentido de pertenencia, así le es más fácil establecer relaciones cognitivas entre los conceptos biológicos y su entorno, desarrollando un pensamiento crítico y reflexivo para argumentar, generar y sustentar con ideas propias respuestas a las preguntas planteadas (Banet y Ayuso, 2000; García, 2014; Harms, 2002; Ummels, Kamp, Kroon y Boersma, 2014; Murray, 2011).

Estudios previos que han aplicado estrategias lúdicas para la enseñanza de temas genética reportan que los alumnos que desarrollan juegos durante las clases, en general, se muestran motivados e interesados en aprender, además de que desarrollan habilidades emocionales, sociales y motrices (Annetta, Minogue, Holmes y Cheng, 2009; Casanoves, Salvadó, González, Valls y Novo 2016; France, 2000; Krikpatrck, Orvis y Pittendrigh, 2002), lo cual sugiere que este tipo de actividades son aceptadas por los alumnos y por lo tanto pueden ser de gran ayuda para motivar o para generar un buen ambiente grupal. Sin embargo, existen resultados contrastantes respecto a los resultados obtenidos, por ejemplo Casanoves et al. (2016) reportan que el uso de estrategias lúdicas mejoró significativamente la calificación de los grupos donde se usaron juegos como estrategia de enseñanza, mientras que Annetta et al. (2009) reportan que estas estrategias funcionan sólo como un gancho para mantener el interés y la motivación en los alumnos, ya que al evaluar los conocimientos encontraron que no existían diferencias significativas entre el grupo que usaba juegos y el grupo control, pero al valorar aspectos socio-emocionales el grupo que trabajó con juegos presentó un mejor desempeño. En concordancia con ambos estudios (Casanoves et al. 2016; Annetta et al. 2009), los resultados del presente trabajo indican que aun cuando el grupo que utilizó diversos juegos presentó mayor calificación en el ensayo que el grupo control, la calificación fue más baja que la obtenida por el grupo que utilizó el ABC en combinación con las estrategias lúdicas. No obstante, la motivación y aceptación de los alumnos por el tema abordado en clases fue mayor en los grupos donde se usaron las actividades lúdicas como estrategia de enseñanza (tanto de manera individual, como combinada) que en el grupo control y al grupo que uso el ABC de manera individual. Esto confirma que los juegos representan estrategias importantes que mejoran el desempeño de los alumnos, aunque varios autores recomiendan no abusar del uso de actividades lúdicas y usarlas sólo en momentos clave para mantener la motivación de los alumnos (Chacón, 2008; Cheng, et al. 2015; Melo y Hernández, 2014).



Respecto al Aprendizaje Basado en Casos (ABC), estudios previos que han usado la solución de estudios de caso para la enseñanza de Biología reportan que los alumnos mejoran notablemente sus calificaciones, además que desarrollan habilidades de comunicación oral y escrita, así como la capacidad de analizar y argumentar respuestas utilizando conceptos biológicos de manera apropiada (Bonney, 2015; Harms, 2002; France 2000). Al igual que en estos estudios, nuestros resultados indican que el uso del ABC como estrategia de enseñanza mejoró significativamente el aprendizaje del tema de Biotecnología, ya que los grupos que usaron esta estrategia obtuvieron las calificaciones más altas, al argumentar mejor sus respuestas con la inclusión de un mayor número de conceptos biológicos respecto al grupo control, e inclusive respecto al grupo que desarrolló las actividades lúdicas. Interesantemente, el grupo donde se implementó la combinación de estrategias y el grupo con sólo ABC no presentan diferencias significativas en la calificación obtenida en el ensayo, lo cual indica que la implementación del ABC por sí sólo, ofrece los mismos resultados (en términos de aprendizaje) que la combinación de las estrategias lúdicas y ABC. No obstante, la evaluación mediante la encuesta aplicada a los alumnos mostró que la estrategia no fue del agrado del grupo en donde se usó el ABC de manera individual, aun cuando las notas del docente indicaron que los alumnos tuvieron interés para resolver el caso, les fue fácil seguir instrucciones, leyeron y observaron todo lo que se les sugirió.

Estos resultados indican que al combinar dos estrategias que promueven diferentes procesos cognitivos, es posible atender las necesidades educativas (tanto de adquisición de conocimiento, como habilidades psicoemocionales) que se presentan en la enseñanza de temas biológicos y mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de las Ciencias en general. Al respecto existen numerosos estudios donde se ha demostrado que el uso de estrategias didácticas pertinentes pueden servir como una vía para que el alumno acceda a conocimientos que por sí sólo no podría comprender (García 2009; Kirkpatrick, et al., 2002; Maloof, 2010; Ummels, 2014). Sin embargo, de acuerdo a la revisión de la literatura y la experiencia que se

tuvo con el desarrollo del presente trabajo, recomendamos dar mayor peso a las estrategias ABC, y sólo integrar los juegos a la clase en momentos clave para mantener la motivación de los alumnos.

Ante la variación de resultados que ofrecen diferentes tipos de evaluaciones, un aspecto pedagógico fundamental que emerge de esta investigación, es la importancia de diseñar diferentes instrumentos de evaluación que sean congruentes a las estrategias de enseñanza, ya que usar un sólo instrumento de evaluación, impide evaluar el aprendizaje como un proceso integral de formación de alumnos (Jiménez et al, 2010; Moncada, López, Nicholls y Reyes, 2007; Martínez, Araujo-Andrade, Palomares-Sánchez y Ortega-Zarzosa, 2006). Específicamente, al usar cuatro instrumentos de evaluación (examen de opción múltiple, ensayo, encuestas de opinión y notas del docente), fue posible observar que los resultados obtenidos con las pruebas aplicadas para evaluar aprendizaje difieren.

En particular, los resultados del examen de opción de múltiple indican que no hubo diferencias significativas en la calificación final, ni en la ganancia de puntos entre los grupos, a pesar que si existe una diferencia en la calificación inicial, respecto a la calificación final. Estos resultados por tanto, podrían indicar que el uso de las estrategias lúdicas y de aprendizaje situado no mejora el aprendizaje de conceptos. Sin embargo, al realizar un análisis puntual de las respuestas de opción múltiple se evidencia la intervención de factores como la suerte por azar, ya que algunos alumnos tienen respuestas correctas en la primera evaluación, pero en la segunda evaluación de la misma pregunta, la respuesta es incorrecta. Esto coincide con resultados reportados en estudios previos, en los cuales se ha demostrado que cuando los alumnos no conocen la respuesta, prefieren responder al azar (Jiménez et al, 2010; Moncada et al, 2007). Una crítica adicional a este tipo de instrumentos de evaluación, es el hecho que la mayoría de los exámenes de opción múltiple sólo evalúan conocimientos declarativos que el alumno almacena en la memoria a corto plazo (Martínez et al, 2006). Esto nos indica que los exámenes de opción múltiple pueden ser poco confiables para conocer realmente si el alumno está aprendiendo,

ya que son más fáciles de responder porque brindan la alternativa de contestar al azar. Por lo tanto, es importante utilizar más de un tipo de evaluación como las preguntas abiertas o el ensayo que proporcionen información más completa.

Por su parte, los resultados obtenidos mediante la aplicación del instrumento de evaluación a partir de la elaboración de un ensayo permitieron una evaluación más completa del aprendizaje del tema en el presente estudio, ya que las respuestas que los alumnos ofrecieron permitieron evaluar el manejo e integración de conceptos básicos, la redacción y otros aspectos importantes como intereses personales, su postura ante los temas científicos, entre otros. Como resultado de esta evaluación, es claro que el uso de las estrategias lúdicas y de aprendizaje basado en casos, tanto de manera individual como en combinación, tuvieron un efecto positivo en el aprendizaje de los grupos donde se implementaron estas estrategias, en comparación con el grupo control que obtuvo el puntaje más bajos, ya que les fue difícil poder elaborar el ensayo, incluso algunos alumnos dejaron sin contestar esta sección. Esto coincide con resultados de estudios previos que reportan que la evaluación mediante ensayo es confiable para conocer si el alumno aprendió el tema y para valorar la efectividad de las estrategias de enseñanza aplicadas (Jiménez et al, 2010; Martínez et al, 2006; Moncada, et al 2007).

Además de los instrumentos de evaluación de aprendizaje de conocimientos adquiridos por los alumnos, las encuestas de aceptación de los alumnos y el diario del docente representan instrumentos de evaluación importantes que ofrecen información sobre los grupos, así como una perspectiva sobre las características y situaciones que se presentan durante el desarrollo de las actividades en el aula. Esta información es relevante para conocer si las actividades son aceptadas y también conocer las sugerencias de los alumnos para mejorar las estrategias (Bougonjon, Valcke, Soetaert y Schellens, 2010; Cimer, 2011). En el presente estudio, los resultados de la encuesta de opinión de los alumnos y el diario del docente mostraron similitudes al momento de comparar la opinión de los alumnos con las actitudes y comportamiento de los grupos descritas por el docente, lo cual

indica que el usar este tipo de instrumentos permite conocer la experiencia humana, es decir, la percepción del alumno ante las estrategias de enseñanza. Estudios previos han utilizado este tipo de instrumentos para evaluar la aceptación de estrategias nuevas, y sus resultados muestran que los alumnos contestan sincera y libremente las encuestas de opinión, permitiendo conocer aspectos como sentimientos, actitud ante algún tema, hábitos de estudio, dificultades y estilos de aprendizaje (Bougonjon et al., 2010; Campbell, Smith, Boulton, Brownlee, Burnett, Carrington y Purdie, 2001; Cimer, 2011).

En síntesis, la presente investigación representa un aporte efectivo e innovador para la educación, tanto a nivel nacional como internacional, debido a que las estrategias implementadas cumplen con aspectos marcados por la OCDE y la RIEMS (Rodríguez, 2012), donde se especifica que la enseñanza en el aula debe basarse en el aprendizaje por competencias, lo cual implica formar alumnos con autonomía y responsables de construir su propio conocimiento. Es importante mencionar que las estrategias que aquí se plantean, pueden utilizarse para la enseñanza de genética y biotecnología a cualquier nivel educativo, ya que los juegos se pueden replicar o adaptar de acuerdo a los recursos económicos disponibles; y el ABC se puede implementar tal cual está desarrollado o adaptarse a otros contextos sociales cambiando ligeramente el sistema de estudio; por ejemplo, en lugar del lago de Pátzcuaro, se puede plantear el suelo contaminado por actividad minera o por prácticas agrícolas que abusan del uso de insecticidas, sin alterar los recursos que ofrece el estudio de caso para que los alumnos revisen el tema de Biotecnología. Finalmente esperamos que este material sea de ayuda e inspiración para que los profesores que imparten materias de Biología, mejoren su práctica docente y logren que los jóvenes se interesen más en la Ciencia.

## 10. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye lo siguiente:

- El uso de una secuencia didáctica que involucra la combinación de estrategias lúdicas y de aprendizaje situado además de promover el aprendizaje de conceptos estimula el desarrollo de integración reflexivo y pensamiento crítico.
- Las estrategias combinadas representan la estrategia con mayor aceptación, que más motiva y que gusta a los alumnos.
- Ambas estrategias de apoyo de manera individual tuvieron un efecto positivo sobre el aprendizaje y desarrollo de habilidades (investigación, creatividad, ética, naturalista, ingeniería y social) evaluado en el ensayo.
- El uso de estrategias combinadas o en lo individual tuvieron un efecto positivo sobre el aprendizaje evaluado con el ensayo.
- Ninguna estrategia de apoyo tuvo un efecto sobre el aprendizaje evaluado con prueba de opción múltiple.
- Los juegos mostraron el más alto porcentaje de aceptación y motivación en los alumnos.
- El estudio de caso (ABC) fue considerado interesante por un alto porcentaje de alumnos pero no motiva ni es del agrado de los alumnos.
- La falta de dominio de conocimientos básicos previos dificultó la comprensión de nuevos temas.
- El uso de materiales con texturas, tamaños y colores diferentes, fue fundamental, no solo para motivar y llamar la atención del estudiante, también para estimular la cognición y por ende la construcción de conocimientos.

## **Consideraciones finales**

Se recomienda la elaboración de estudios de caso para la enseñanza de temas complejos de biología, debido a que la estrategia de aprendizaje basada en casos no mostró diferencias significativas en la calificación y ganancia en puntos en el ensayo respecto a la estrategia combinada en el aprendizaje, aunado al hecho que esta estrategia no representa una inversión económica alta para el docente.

La implementación de estrategias lúdicas se recomienda sólo en momentos clave para mantener la motivación de los alumnos en el desarrollo de las actividades, debido a que los juegos requieren inversión económica y de tiempo, tanto para su elaboración como su implementación y los resultados en aprendizaje no son tan altos como la observada en el Aprendizaje Basado en Casos, aunque esta estrategia por sí sola no fue del agrado de los alumnos con respecto a las actividades lúdicas que representa la estrategia de enseñanza con mayor motivación, gusto y aceptación.

Se sugiere realizar un análisis crítico a las evaluaciones de opción múltiple debido a que observó que los alumnos eligen al azar, por lo cual se recomienda ampliamente utilizar otros instrumentos de evaluación que reflejen de manera más objetiva tanto el aprendizaje de conceptos como el desarrollo de otras habilidades necesarias para los alumnos.

Finalmente se pretende escribir un artículo científico utilizando la información obtenida de la presente investigación, para una revista de corte educativo ya que consideramos importantes los aportes que se pueden hacer a partir de los resultados obtenidos.

## 11. Referencias

- Alters, J.B. & Nelson, E.C. (2002). Teaching evolution in higher education. *International journal of organic evolution*, 56(10): 1891-1901.
- Amory, A., Naicker, K., Vincent, J., & Adams, C. (1999). The use of computer games as an educational tool: identification of appropriate game types and game elements. *British Journal of Educational Technology*. 30(4): 311–321. doi:10.1111/1467-8535.00121
- Anaya, D.A., & Anaya, H.C. (2010). ¿Motivar para aprobar o para aprender? Estrategias de motivación del aprendizaje para los estudiantes. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1): 5-14. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094002>
- Annetta, L.A., Minogue, J., Holmes, S.Y. & Cheng, M.T. (2009). Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetic. *Computer and Education*. No. 53. 74-85. doi: 10.1016/j.compedu.2008.12.020
- Audesirk, T., Audesirk G. & Byers B.E. (2013). *Biología: La vida en la Tierra con fisiología*. 9ª ed. México. Editorial Pearson Educación. 1000.
- Banet, E., Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: a strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*. 84(3): 313-351. doi: 10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N
- Bonney, K.M. (2015). Case study teaching method improves student performance and perceptions of learning gains. *Journal of Microbiology and Biology Education*. 16(1): 21-28. doi: 10.1128/jmbe.v16i1.846

- Bougonjon, J., Valcke, M., Soetaert, R. y Schellens, T. (2010). Students' perceptions about the use of video games in the classroom. *Computers & Education*. 54: 1145–1156. doi:10.1016/j.compedu.2009.10.022
- Campanario, J.M & Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias*, 17(2): 179-192. Recuperado de: <https://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21572/21406>
- Campbell, J., Smith, D., Boulton-Lewis, G., Brownlee, J., Burnett, P. C., Carrington, S., & Purdie, N. (2001). Students' Perceptions of Teaching and Learning: The influence of students' approaches to learning and teachers' approaches to teaching. *Teachers and Teaching*. 7(2): 173–187. doi:10.1080/13540600120054964
- Casanoves, M, Salvadó, Z., González, A., Valls, C. & Novo, M.T. (2016). Learning genetics through a scientific inquiry game. *Journal of Biological Education*, 51(2): 99-106. doi: 10.1080/00219266.2016.1177569
- Castro, G.C. (2015). *Biología* (6ª ed.). México. FCE, SEP, DGTI, Textos de educación Media Superior. 232.
- Chacón, P. (2008). El juego didáctico como estrategia de enseñanza y aprendizaje ¿Cómo crearlo en el aula?. Recuperado de: <http://www.e-historia.cl/cursosudla/13-EDU413/lecturas/06%20-%20El%20Juego%20Didactico%20Como%20Estrategia%20de%20Ense%C3%B1anza%20y%20Aprendizaje.pdf>
- Cheng, M.T., Chen, J.H., Chu, S.J., Chen, S.Y. (2015). The use of serious games in science education: a review of selected empirical research from 2002 to 2013. *Journal of Computers in Education*. 2(3): 353-375. doi: 10.1007/s40692-015-0039-9



- Cimer, A. (2011). What makes biology learning difficult and effective: Students' views. *Educational Research and Reviews*. 7(3): 61-71. doi: 10.5897/ERR11.205
- Coll, C. (2010). Enseñar y aprender, contruit y compartir: procesos de aprendizaje y ayuda educativa. En Coll, C. *Desarrollo, aprendizaje y enseñanza en educación Secundaria*. Barcelona. 31-61.
- Cook, K. (2009). A suggested Project-based evolution unit for high school: Teaching content through application. *The American Biology Teacher*, 71(2): 95-98. doi: 10.1662/005.071.0209
- Damián, D.M. (2014). Contextos, juegos y expresión de las emociones de los escolares: su importancia en el desarrollo psicológico y en la educación. *Revista Iberoamericana sobre Niñez y Juventud por Lucha de sus Derechos*. Recuperado: <http://revistarayuela.ednica.org.mx/sites/default/files/121-130.pdf>
- De Ibarra-Nicolín, M. (2012). Los grandes problemas del sistema educativo mexicano. *Perfiles educativos*. IISUE-UNAM, XXXIV, 16-28. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-26982012000500003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982012000500003)
- Delgado, R. X., Andrade, E.A., Juárez, R.M., García, S.F., Padilla, R.L., Vargas, V.L. (2010). Manual técnicas e instrumentos para facilitar la evaluación del aprendizaje. Recuperado de: [http://moodle2.unid.edu.mx/dts\\_cursos\\_mdlic/ED/AV/AM/11/Manual.pdf](http://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_mdlic/ED/AV/AM/11/Manual.pdf)
- Díaz, B.F. & Hernández, R.G. (1999). *Capítulo 5. Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. México, McGraw Hill. 79-111.
- Díaz, B.F. (2003). Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. *Revista electrónica de investigación Educativa*, 5(2): 13 pp. Recuperado de: <https://redie.uabc.mx/redie/article/view/85/151>

- Díaz, B.F (2006). *Enseñanza situada, vínculo entre la vida y la escuela*. (2ª ed.). México: McGraw Hill. 165.
- Eleizalde, M., Parra, N., Palomino, C., Reyna, A. & Trujillo, I. (2010). Aprendizaje por descubrimiento y su eficacia en la enseñanza de la Biotecnología. *Revista de Investigación*, 34(71): 271- 290. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3705007.pdf>
- Fonseca, H. & Bencomo, M.N. (2011). Teorías del aprendizaje y modelos educativos: revisión histórica. *Revista Enfermería y Ciencias de la Salud*, 4(1): 71-93. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3938580.pdf>
- Fonseca, H. & Bencomo, N.M. (2011). Teorías del Aprendizaje y Modelos Educativos: Revisión Histórica. *Revista Salud, Arte y cuidado*, 4(1): 71-93. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3938580.pdf>
- France, B. (2000). Biotechnology teaching models: what is the roles in technology education?. *International Journal of Science Education*, 22(9): 1027-1039. doi: 10.1080/095006900416893
- García, G. E. (2009). Aprendizaje y construcción del conocimiento en: López, A.C. y Matesanz B.M. (Eds). *Las plataformas de aprendizaje. Del mito a la realidad*. Madrid: Biblioteca Nueva, 21-44. Recuperado de: [https://eprints.ucm.es/9973/1/APRENDIZAJE\\_\\_Y\\_CONSTRUCCION\\_DEL\\_CONOCIMIENTO.pdf](https://eprints.ucm.es/9973/1/APRENDIZAJE__Y_CONSTRUCCION_DEL_CONOCIMIENTO.pdf)
- García, G.A. (2014). Método de Casos y Ambientes Virtuales. Congreso Iberoamericano de Ciencia, tecnología, innovación y educación. Art. 1189, 1-21. Recuperado de: <https://www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/1189.pdf>
- García, P.F.F. (2000). Los modelos didácticos como instrumentos de análisis y de intervención en la realidad educativa. *Revista Bibliográfica de Geografía y*

Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona, 207, 1-15. Recuperado de:  
<http://www.ub.edu/geocrit/b3w-207.htm>

Germán, C.M.P., Miranda, G.E., Ortega, N.A., & Valenzuela, P.L. (2015). *Biología*. A. E. México.

Harms, U. (2002). Biotechnology Education in Schools. *Electronic Journal of Biotechnology*, 5(3): 1-7. doi: 10.4067/S0717-34582002000300003

Hernández, R. G. (2006). *Paradigmas en psicología de la educación* (1ª ed.). México: Editorial Paidós Educador. 267.

Hernández, S.R., Fernández, C.C. & Baptista, L.P. (2004). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana. 533.

Jaramillo, N.L.M., Puga, P.L.A. (2016). El pensamiento lógico-abstracto como sustento para potenciar los procesos cognitivos en la educación. *Revista Shophia*, colección de filosofía de la educación. 21: 31-55. doi: 10.17163/soph.n21.2016.01

Jiménez G.Y.I., González, R. M.A. & Hernández, J.J. (2010). Propuesta de un modelo para la evaluación integral del proceso enseñanza-aprendizaje acorde con la Educación Basada en Competencias. *Revista de Investigación Educativa*, 13: 01-25.

Kirkpatrick, G. Orvis, K., & Pittendrigh, B. (2002). A teaching model for biotechnology and genomics education. *Journal of Biological Education*, 37(1). 31-35. doi: 10.1080/00219266.2002.9655843

Linhart, Y.B. (2015). The teaching of evolution: We need to do better. *BioScience*, 47(6): 385-391. doi: 10.2307/1313153

Maloof, J. & White, V.K.B. (2010). Team study training in the college biology laboratory. *Journal of Biological Education*, 39(3): 120-124. doi: 10.1080/00219266.2005.9655978

- Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education*, 35(4): 182- 189. doi: 10.1080/00219266.2001.9655775
- Martínez, J.R., Araujo-Andrade, C. Palomares-Sánchez & Ortega-Zarzosa, G. (2006). Análisis del grado de conocimientos declarativo y procedural de estudiantes en cursos de física universitaria. *Revista mexicana de Física E*, 52(2): 142-150. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57065606>
- Mayorga, F.J. (2010). Modelos didácticos y estrategias de enseñanza en el espacio Europeo de Educación Superior. *Tendencias Pedagógicas*, 15(1): 91- 111. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3221568.pdf>
- Medina, R.A. & Salvador, M. F. (2009). *Didáctica general*, (2ª ed.). Madrid: Perason Educación, Prentice Hall. 480.
- Melo, H.M.R., & Hernández, B.R. (2014). El juego y sus posibilidades en la enseñanza de las ciencias naturales. *Innovación Educativa*, 14(66): 41-63. Recuperado de: <http://www.innovacion.ipn.mx/Revistas/Documents/REVISTA-2014/revista-66/revista-66-el-juego-y-sus-posibilidades.pdf>
- Mendoza, S.L.A. & Mendoza, S.E. (2011). *Biología II* (1ª ed.). México: Editorial Trillas. 224.
- Minerva, T.C. (2002). El juego: Una estrategia importante. *Educere - Revista Venezolana de Educación*, 6(19): 289-296. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/356/35601907.pdf>
- Moncada, A.L.I., López, P.C., Nicholls, O.R.S., Reyes, H. P. (2007). El examen de pregunta abierta: experiencia en el curso de parasitología. *Revista de la Facultad de Medicina*, 55(3): 153-164. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/23076/23849>


- Murray, N. (2011). Incorporating case studies into an undergraduate genetics course. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 11 (3): 75-85. Recuperado de: [https://www.iupui.edu/~josotl/archive/vol\\_11/no\\_3/v11n3murray.pdf](https://www.iupui.edu/~josotl/archive/vol_11/no_3/v11n3murray.pdf)
- OCDE. (2015). Panorama de la Educación. Nota País. Recuperado de: <https://www.oecd.org/mexico/education-at-a-glance-2015-mexico-in-spanish.pdf>
- Olsher, G. y Dreyfus, A. (1999). Biotechnologies as a context for enhancing junior high-school students' ability to ask meaningful questions about abstract biological processes. *International Journal of Science Education*, 21(2): 137-153. doi: 10.1080/095006999290750
- Pantoja, C. J. C. y Covarrubias P. P. (2013). La enseñanza de la biología en el bachillerato a partir del aprendizaje basado en problemas (ABP). *Perfiles educativos*, 35(139): 93-109. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13225611005>
- Pereira, P. Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: una experiencia concreta. *Revista electrónica Educare*, XV(1), 15-29. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/1941/194118804003/>
- Piaget, J. (1996). *Estudios de psicología genética*. Edit. Editores. Argentina.
- RIEMS. (2008). Reforma Integral de la Educación Media Superior. Actualmente vigente. Recuperado de: <http://cosdac.sems.gob.mx/portal/index.php/riems>
- Rodríguez, V.G. (2012). Política y educación la construcción de un destino. *Perfiles Educativos*. XXXIV(138): 210-214. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13224551014>
- Sánchez, B.G. (2010). Las estrategias de aprendizaje a través del componente lúdico. *Revista de didáctica español como lenguaje extranjero*. Universidad de

- Alcalá, España. (11): 1-64. Recuperado de:  
<http://marcoele.com/descargas/11/sanchez-estrategias-ludico.pdf>
- Santiago-Benítez, G., Caballero-Álvarez, R., Gómez-Mayen, D., & Domínguez-Cuevas, A. (2013). El uso didáctico de las TIC en escuelas de educación básica en México. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México)*, Vol. XLIII (3): 99-131. Recuperado de:  
<http://www.redalyc.org/pdf/270/27028898004.pdf>
- Schunk, D.H. (2012). *Teoría del aprendizaje* (6ª ed.) Una perspectiva educativa. Sexta edición. México: Pearson Educación. 568.
- SEMS, Secretaria de Educación Media Superior, (2013). Programa de estudios de Biología, Acuerdo Secretarial 345, Secretaria de Educación Pública. Tercera versión del Programa de Biología, México.
- SEP, (2016). Programa de la asignatura Biología I. Colegio de Bachilleratos. Recuperado de: [https://repositorio.cbachilleres.edu.mx/wp-content/material/programas\\_14/cuarto/basica/biologia\\_1.pdf](https://repositorio.cbachilleres.edu.mx/wp-content/material/programas_14/cuarto/basica/biologia_1.pdf)
- Thieman, W.J. & Palladino, M. A. (2010). *Introducción a la biotecnología* (2ª ed.). España: Pearson. 406.
- Ummels, M.H.J., Kamp, M.J.A., Kroon, H. & Boersma, K. Th. (2014). Designing and Evaluating a Context-based Lesson Sequence Promoting Conceptual Coherence in biology. *Journal of Biological Education*, 49(1): 38-52. doi: 10.1080/00219266.2014.882380
- Vázquez, S., Núñez, G., Pereira, R. & Cattáneo, L. (2008). Una estrategia integradora en la enseñanza de las ciencias naturales: aprendiendo sobre un producto regional. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(1): 39-61. Recuperado de:  
<http://www.redalyc.org/pdf/920/92050105.pdf>

- Vigotsky, L. (1978). El desarrollo de los procesos psicológicos superiores, (1a ed.).  
Barcelona: Crítica. Recuperado de:  
[http://www.terras.edu.ar/biblioteca/6/TA\\_Vygotsky\\_Unidad\\_1.pdf](http://www.terras.edu.ar/biblioteca/6/TA_Vygotsky_Unidad_1.pdf)
- Zabala, V.A. (1998). Las relaciones interactivas en clase. El papel del profesorado  
y del alumnado, en La práctica educativa. Cómo enseñar, 4ª Ed., Barcelona,  
Graó. Serie Pedagogía, 120: 91-113.
- Zhang, X. (2014). Teaching molecular phylogenetics through investigating a real-  
world. *Journal of Biological Education*, 46(2): 103-109. doi:  
10.1080/00219266.2011.634018

## 12. Anexos

### Anexo 1. Planeación didáctica grupo "A" Control.

 <p style="text-align: center;">ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNAM MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR PLANEACIÓN DIDÁCTICA</p>			
Profesor: Elizabeth Dalila Frausto Sotelo Tema eje: Explica el comportamiento e interacciones en los sistemas químicos, biológicos, físicos y ecológicos.		Grupo: 6°C Fecha: 19 feb – 02 mar 2018    Tiempo: 10 horas	
Objetivo: Comprende las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos.			
Tema:	Subtema:	Aprendizaje:	
3. Emulando la naturaleza biológica en el laboratorio	i) Introducción a los conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación, adaptación). ii) Manipulación del ADN iii) Bioética: aplicaciones y riesgos de la manipulación del ADN	El alumno: 1. Comprende las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos.	
Actividad didáctica	Recursos	Evaluación	Observaciones
<b>Apertura:</b> El profesor saludó y comunicó al grupo: el tema, el objetivo, las actividades que se iban a realizar y como se evaluaría el tema. <b>Desarrollo:</b> Los subtemas se abordarán con apoyo de una presentación de PowerPoint y bibliografía especializada (Audesirk et al., 2013; Campbell y Reece, 2005). <ul style="list-style-type: none"> <li>Para el subtema Introducción a los conceptos biológicos básicos (ADN,</li> </ul>	Presentación de PowerPoint.	Al inicio de la intervención, se aplicó un examen con 20 preguntas de opción múltiple y una pregunta abierta a los alumnos.	En este grupo se trabajó sólo con el apoyo de las diapositivas, los alumnos hicieron apuntes, podían participar con preguntas o respondiendo preguntas que la profesora hacía durante las sesiones. En las sesiones se partía de lo visto en la sesión



<p>replicación, mutación y adaptación) se plantearon las siguientes preguntas ¿Cómo se almacena la información genética?, ¿Cómo se transmite la información genética?, ¿Qué importancia tiene la variación genética en la aparición de adaptaciones? (2hrs).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el subtema Manipulación del ADN se planteó, la pregunta ¿Cómo se modifica de manera artificial el ADN de un organismo en un sistema de laboratorio? ( 2 hr).</li> <li>• Para el subtema Bioética: aplicaciones y riesgos de la manipulación del ADN, se retomaron los temas vistos anteriormente (2hr)</li> </ul> <p>Los subtemas se abordarán con apoyo bibliográfico especializado (Audesirk <i>et al.</i>, 2013 y Campbell y Reece, 2005) debido a que se trabajó bajo la nueva reforma educativa propuesta por la SEP, bajo un nuevo programa y por el momento la escuela no cuenta con libro de texto autorizado.</p> <p><b>Cierre:</b> El docente concluyó cada sesión retomando los conceptos más importantes y entablando una retroalimentación grupal.</p>	<p>Cuaderno</p> <p>Pintarrón y marcadores.</p> <p>Copias de la prueba que se aplicó al inicio y al final de las sesiones.</p> <p>Copias de la encuesta de opinión.</p>	<p>Al finalizar con los temas, se les aplicó el mismo examen que al inicio (20 preguntas de opción múltiple y una abierta) y una encuesta de opinión múltiple de diez preguntas.</p>	<p>anterior, para darle sentido al tema que continuaba.</p>
<p>Bibliografía de apoyo: Audesirk, T., Audesirk G., Byers B.E., 2013. Biología: La vida en la Tierra con fisiología. Novena edición. México. Editorial Pearson Educación. Campbell N. A., Reece J. B. 2005. Biología. Séptima edición. Editorial Médica Panamericana. Impreso en España. 1397 pp.</p>			

Anexo 2. Planeación didáctica grupo “B” Juegos.


 <p style="text-align: center;"> <b>ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNAM</b>  <b>MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR</b>  <b>PLANEACIÓN DIDÁCTICA</b> </p>			
Profesor: Elizabeth Dalila Frausto Sotelo Tema eje: Explica el comportamiento e interacciones en los sistemas químicos, biológicos, físicos y ecológicos.		Grupo: 6°B Fecha: 19 feb – 02 mar 2018    Tiempo: 10 horas	
Objetivo: Comprende las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos.			
Tema:	Subtema:	Aprendizaje:	
3. Emulando la naturaleza biológica en el laboratorio	i) Introducción a los conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación y adaptación). ii) Manipulación del ADN. iii) Bioética, aplicaciones y riesgos de la manipulación del ADN.	El alumno: • Comprende las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos.	
Actividad didáctica	Recursos	Evaluación	Observaciones
<b>Apertura:</b> El profesor saludó y comunicó al grupo: el tema, el objetivo, las actividades que se iban a realizar y como se evaluaría el tema. <b>Desarrollo:</b> Los temas se abordaron con el apoyo de una presentación de PowerPoint y bibliografía especializada (Audesirk <i>et al.</i> , 2013 y Campbell y Reece, 2005). • Para el subtema Introducción a los conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación y adaptación), se abordaron las preguntas ¿Cómo se almacena la información genética?, ¿Cómo se trasmite la información	Presentación de power-point.  Juego de letras de madera para simular la replicación del ADN y las mutaciones.	Al inicio de la intervención, se aplicó un examen con 20 preguntas de opción múltiple y una pregunta abierta a los alumnos.	En este grupo sólo se utilizaron actividades lúdicas.  En el juego, jugando a ser científico se realizarán actividades experimentales con el apoyo de equipo de laboratorio de la ENES Unidad Morelia, UNAM y asistencia técnica para el manejo del equipo.

<p>genética?, ¿Qué importancia tiene la variación genética en la aparición de adaptaciones?, y se utilizarán dos actividades lúdicas: un juego de letras de madera para simular secuencias de ADN, el proceso de replicación y mutación; y un juego de peces para representar la variación y adaptaciones que puede presentarse en una población (2 hrs).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el subtema Manipulación del ADN, se plantearon la siguiente pregunta ¿Cómo se modifica de manera artificial el ADN de un organismo en un sistema de laboratorio?. Una vez planteada la pregunta, se realizaron actividades experimentales para aislar ADN de tejidos vegetales y para analizar el ADN mediante electroforesis en gel, así como dos actividades lúdicas: un juego con una secuencia en papel donde podrán simular la manipulación de un gen y un juego con piezas de madera que permitió demostrar el principio de la secuenciación del ADN (2 hrs).</li> <li>• Para el subtema Bioética: aplicaciones y riesgos de la manipulación genética de los organismos, se abordara el tema sólo con el apoyo de la presentación y retomando los temas que se vieron anteriormente (2 hrs).</li> </ul> <p><b>Cierre:</b> El docente concluirá cada sesión recordando y reflexionado lo que se abordó en cada sesión.</p>	<p>Juego de peces, para ilustrar la variación genética y adaptaciones en una población.</p> <p>Reactivos y materiales para extracción de ADN de tejidos vegetales, equipo y materiales para electroforesis de ADN.</p> <p>Juego secuencia de papel.</p> <p>Juego secuenciación de ADN con piezas de madera.</p> <p>Copias del estudio de caso. Copias del la prueba que se aplicó antes y después de las sesiones.</p>	<p>Al finalizar con los temas, se les aplicó el mismo examen que al inicio (20 preguntas de opción múltiple y una abierta) y una encuesta de opinión múltiple de diez preguntas.</p>	
<p>Bibliografía de apoyo:</p>			

Audesirk, T., Audesirk G., Byers B.E., 2013. *Biología: La vida en la Tierra con fisiología*. Novena edición. México. Editorial Pearson Educación.

Campbell N. A., Reece J. B. 2005. *Biología*. Séptima edición. Editorial Médica Panamericana. Impreso en España. 1397 pp.


Anexo 3. Planeación didáctica grupo “C” caso (ABC).

 <p style="text-align: center;">ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNAM MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR PLANEACIÓN DIDÁCTICA</p>			
Profesor: Elizabeth Dalila Frausto Sotelo Tema eje: Explica el comportamiento e interacciones en los sistemas químicos, biológicos, físicos y ecológicos.		Grupo: 6°C Fecha: 19 feb – 02 mar 2018    Tiempo: 10 horas	
Objetivo: Comprende las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos.			
Tema:	Subtema:	Aprendizaje:	
3. Emulando la naturaleza biológica en el laboratorio	i) Introducción a los conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación, adaptación). ii) Manipulación del ADN iii) Bioética: aplicaciones y riesgos de la manipulación del ADN	El alumno: 2. Comprende las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos.	
Actividad didáctica	Recursos	Evaluación	Observaciones
<b>Apertura:</b> El profesor saludó y comunicó al grupo: el tema, el objetivo, las actividades que se iban a realizar y como se evaluaría el tema. <b>Desarrollo:</b> Los subtemas se abordarán con apoyo de una presentación de PowerPoint y bibliografía especializada (Audesirk <i>et al.</i> , 2013 y Campbell y Reece, 2005).	Presentación de PowerPoint.	Al inicio de la intervención, se aplicó un examen con 20 preguntas de opción múltiple y una pregunta abierta a los alumnos.	En este grupo se trabajó sólo con el apoyo de las diapositivas y se utilizó la estrategia de enseñanza situada por un (ABC).

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el subtema Introducción a los conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación y adaptación) se plantearán las siguientes preguntas ¿Cómo se almacena la información genética?, ¿Cómo se trasmite la información genética?, ¿Qué importancia tiene la variación genética en la aparición de adaptaciones? (2hrs).</li> <li>• Para el subtema Manipulación del ADN se planteó, la pregunta ¿Cómo se modifica de manera artificial el ADN de un organismo en un sistema de laboratorio? ( 2 hr).</li> <li>• Para el subtema Bioética: aplicaciones y riesgos de la manipulación genética de los organismos, se les presentó a los alumnos un estudio de caso diseñado para abordar la pregunta ¿Cuáles son las consecuencias de la modificación del ADN de los organismos? en el que se integrarán los temas que se vieron previamente, para entender la enten diferentes ejemplos de biotecnología (2 hrs).</li> </ul> <p>Los subtemas se abordaron con apoyo bibliográfico especializado (Audesirk <i>et al.</i>, 2013 y Campbell y Reece, 2005) debido a que se trabajó bajo la nueva reforma educativa propuesta por la SEP, bajo un nuevo programa y por el momento la escuela no cuenta con libro de texto autorizado.</p> <p><b>Cierre:</b></p>	<p>Cuaderno</p> <p>Pintarrón y marcadores.</p> <p>Copias del caso (ABC)</p> <p>Copias de la prueba que se aplicó al inicio y al final de las sesiones.</p> <p>Copias de la encuesta de opinión.</p>	<p>Al finalizar con los temas, se les aplicó el mismo examen que al inicio (20 preguntas de opción múltiple y una abierta) y una encuesta de opinión múltiple de diez preguntas.</p>	
--	---	--	--

El docente concluyó cada sesión retomando los conceptos más importantes y entablando una retroalimentación grupal.			
<p>Bibliografía de apoyo:</p> <p>Audesirk, T., Audesirk G., Byers B.E., 2013. Biología: La vida en la Tierra con fisiología. Novena edición. México. Editorial Pearson Educación.</p> <p>Campbell N. A., Reece J. B. 2005. Biología. Séptima edición. Editorial Médica Panamericana. Impreso en España. 1397 pp.</p>			

#### Anexo 4. Planeación didáctica grupo "D" Juegos\_ABC.

 <p style="text-align: center;"> <b>ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNAM</b>  <b>MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR</b>  <b>PLANEACIÓN DIDÁCTICA</b> </p>			
Profesor: Elizabeth Dalila Frausto Sotelo Tema eje: Explica el comportamiento e interacciones en los sistemas químicos, biológicos, físicos y ecológicos.		Grupo: 6°A Fecha: 19 feb – 02 mar 2018    Tiempo: 10 horas	
Objetivo: Comprende las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos.			
<b>Tema:</b>	<b>Subtema:</b>	<b>Aprendizaje:</b>	
3. Emulando la naturaleza biológica en el laboratorio	i) Introducción a los conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación y adaptación). ii) Manipulación del ADN. iii) Bioética, aplicaciones y riesgos de la manipulación del ADN.	El alumno: • Comprende las consecuencias biológicas, éticas y sociales de la modificación genética de los organismos.	
<b>Actividad didáctica</b>	<b>Recursos</b>	<b>Evaluación</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Apertura:</b> El profesor saludó y comunicó al grupo: el tema, el objetivo, las actividades que se iban a realizar y como se evaluaría el tema. <b>Desarrollo:</b>		Al inicio de la intervención, se aplicó un examen con 20 preguntas de opción múltiple y una pregunta abierta a los alumnos.	En este grupo se utilizarán las dos estrategias de enseñanzas, actividades lúdicas y caso (ABC).

<p>Los temas se abordaron con el apoyo de una presentación de PowerPoint y bibliografía especializada (Audesirk <i>et al.</i>, 2013 y Campbell y Reece, 2005).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el subtema Introducción a los conceptos biológicos básicos (ADN, replicación, mutación y adaptación), se abordaron las preguntas ¿Cómo se almacena la información genética?, ¿Cómo se trasmite la información genética?, ¿Qué importancia tiene la variación genética en la aparición de adaptaciones?, y se utilizarán dos actividades lúdicas: un juego de letras de madera para simular secuencias de ADN, el proceso de replicación y mutación; y un juego de peces para representar la variación y adaptaciones que puede presentarse en una población (2 hrs).</li> <li>• Para el subtema Manipulación del ADN, se plantearon la siguiente pregunta ¿Cómo se modifica de manera artificial el ADN de un organismo en un sistema de laboratorio?. Una vez planteada la pregunta, se realizaron actividades experimentales para aislar ADN de tejidos vegetales y para analizar el ADN mediante electroforesis en gel, así como dos actividades lúdicas: un juego con una secuencia en papel donde podrán simular la manipulación de un gen y un juego con piezas de madera que permitió demostrar el principio de la secuenciación del ADN (2 hrs).</li> <li>• Para el subtema Bioética: aplicaciones y riesgos de la manipulación genética de los</li> </ul>	<p>Presentación de power-point.</p> <p>Juego de letras de madera para simular la replicación del ADN y las mutaciones.</p> <p>Juego de peces, para ilustrar la variación genética y adaptaciones en una población.</p> <p>Reactivos y materiales para extracción de ADN de tejidos vegetales, equipo y materiales para electroforesis de ADN.</p> <p>Juego secuencia de papel.</p> <p>Juego secuenciación de ADN con piezas de madera.</p>	<p>Al finalizar con los temas, se les aplicó el mismo examen que al inicio (20 preguntas de opción múltiple y una abierta) y una encuesta de opinión múltiple de diez preguntas.</p>	<p>En el juego, jugando a ser científico se realizarán actividades experimentales con el apoyo de equipo de laboratorio de la ENES Unidad Morelia, UNAM y asistencia técnica para el manejo del equipo.</p>
---	--	--	---

<p>organismos, se les presentó a los alumnos un estudio de caso diseñado para abordar la pregunta ¿Cuáles son las consecuencias de la modificación del ADN de los organismos? en el que se integraron los temas que se vieron previamente, para entender la enten diferentes ejemplos de biotecnología (2 hrs).</p> <p><b>Cierre:</b> Se concluyó cada sesión recordando y reflexionado lo que se abordó en cada sesión.</p>	<p>Copias del estudio de caso.</p> <p>Copias de la prueba que se aplicó al inicio y al final de las sesiones.</p> <p>Copias de la encuesta de opinión.</p>		
<p>Bibliografía de apoyo: Audesirk, T., Audesirk G., Byers B.E., 2013. Biología: La vida en la Tierra con fisiología. Novena edición. México. Editorial Pearson Educación. Campbell N. A., Reece J. B. 2005. Biología. Séptima edición. Editorial Médica Panamericana. Impreso en España. 1397 pp.</p>			



## Anexo 5. Instrucciones del juego “Copiando el ADN”.

# Copiando el ADN

**Objetivo:** Durante este juego aprenderás como se transmite la información genética de una célula madre a dos células hijas y cómo se presentan las mutaciones, para ello deberás copiar y replicar una molécula de ADN lo más rápido que puedas, imitando el trabajo que realizan las ADN polimerasas en tus células.


**Reglas del juego:**

- Juega con respeto y tolerancia.
- Respeta los tiempos asignados al juego.
- Todos los nucleótidos deben ser copiados (no dejar ningún espacio vacío), aunque se cometan errores.
- **G** sólo puede unirse a **C** y **A** sólo puede unirse a **T**.
- ¡NO OLVIDES DIVERTIRTE!

**INSTRUCCIONES:**

1. Formar equipos de 5 personas de acuerdo a las indicaciones de la Profesora.
2. La profesora entregará un kit de juego para cada equipo.
3. Cada equipo dispondrá de una molécula de ADN formada por dos cadenas de nucleótidos representados por letras.
4. En una rotación de turnos todos los integrantes del equipo deberán replicar la molécula de ADN de la mesa, es decir deberás separar las dos cadenas de nucleótidos y usar cada cadena como molde para copiar el ADN. Recuerda que **G** sólo puede unirse a **C** y **A** sólo puede unirse a **T**.
5. La replicación del ADN se tendrá que hacer lo más rápido posible y todos los espacios se deben de cubrir aun que el nucleótido sea incorrecto.
6. Se harán tres rondas de 90, 60 y 30 segundos de tiempo. La profesora tomara el tiempo y dará indicaciones.

<http://hdwallsource.com/simpson-wallpaper-23001.html>




## Anexo 6. Instrucciones del juego “Fuerza de selección”.

# Fuerza de selección

**Objetivo:** Durante este juego aprenderás como actúa la fuerza de selección natural en una población de peces, y cómo un alelo puede dar una ventaja adaptativa al organismo que la posee.

**Reglas del juego:**

- Jugar con respeto y tolerancia.
- Seguir las instrucciones y tener cuidado al momento de contar y reproducir los peces.
- Nunca pescar los peces con el alelo del color de tu mesa.
- Registrar los datos que se te piden en la hoja de registro del juego.



**INSTRUCCIONES:**

1. Formar equipos de 6-7 personas de acuerdo a las indicaciones de la Profesora
2. La profesora te entregará un kit de juego para cada equipo y una tabla para registrar el número de peces.
3. Los equipos serán asignados a una estación con una tarjeta que indicará la presión de selección a la que está expuesta la población de peces y el color del alelo que le confiere resistencia a esa presión.
4. Ronda 1: Coloca 3 peces de cada color (18 peces en total) en la charola.
5. Gira la charola y pesca 5 peces en total de cualquier color excepto el de tu mesa.
6. Reproduce los peces que quedaron en la charola después de pescar, es decir, si hay 3 rosas y 5 verdes, agrega 3 peces rosas y 5 verdes a la charola.
7. Registra el número de peces de cada color en la tabla que te proporcionó la Profesora .
8. Ronda 2: repite los pasos 5, 6 y 7, pero ahora deberás pescar 10 peces en total .
9. Ronda 3: repite los pasos 5, 6 y 7, pero ahora deberás pescar 15 peces en total .
10. No olvides reproducir después de cada pesca.

Imagen: <https://lichess.org/blog/vLPrG0uAACKAnY7D/atomic-chess-and-more>

Anexo 7. Tabla de llenado para jugar la fuerza de la selección.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Juego: La fuerza de selección. Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Elaboró: Profesora Elizabeth Dalila Frausto Sotelo Biología contemporánea, Unidad 3. Biotecnología.

Nombre del Alumno 1: \_\_\_\_\_ Nombre del Alumno 2: \_\_\_\_\_

Nombre del Alumno 3: \_\_\_\_\_ Nombre del Alumno 3: \_\_\_\_\_

Nombre del Alumno 4: \_\_\_\_\_ Nombre del Alumno 5: \_\_\_\_\_

Nombre del Alumno 6: \_\_\_\_\_ Nombre del Alumno 7: \_\_\_\_\_

Fuerza de selección de tu equipo: \_\_\_\_\_

No	Color del pez	No. de peces al inicio de ronda 1	No. de peces al inicio de ronda 2	No. de peces al inicio de ronda 3	No. de peces al final del juego
1	Verde	3			
2	Rosa	3			
3	Azul	3			
4	Naranja	3			
5	Gris	3			
6	Morado	3			
TOTAL		18	26	32	34

Ahora pasa a cada equipo y llena la siguiente tabla.

Equipo	Color del alelo	No. de peces finales del equipo verde	No. de peces finales del equipo rosa	No. de peces finales del equipo azul	No. de peces finales del equipo naranja	No. de peces finales del equipo gris	No. de peces finales del equipo morado	No. de peces finales del equipo azar
1	Verde							
2	Rosa							
3	Azul							
4	Naranja							
5	Gris							
6	Morado							
TOTAL								



Anexo 8. Instrucciones del juego “Jugando a ser científico”.

# ¡Juguemos a ser científicos.!

**Objetivo:** Durante este juego aprenderás a aislar el ADN de células vegetales aplicando una técnica de extracción casera y confirmarás que todas las células contienen ADN que almacena la información genética.

**Reglas del juego:**


- Juega con respeto y tolerancia
- Sigue las instrucciones cuidadosamente
- Incorporate al equipo de 5 personas que te indique la profesora.
- Cuida mucho el material del kit que te entregará la profesora.

**Materiales:**

- 8 fresas
- Sal
- Agua embotellada fría
- Detergente líquido
- Vaso graduado
- Tubos de ensayo o frascos de vidrio
- Varilla estrecha o palillos de madera
- Ablandador de carne o jugo de piña
- Alcohol etílico 70-95%
- Bolsa de plástico

**Purificación de ADN**

- Prepara la siguiente solución de extracción:  
60 ml agua + 0.7 g sal + 3ml detergente
- Tritura 8 fresas en una bolsa de plástico
- Mezcla 5ml de la fruta triturada + 10 ml de solución
- Separa los restos sólidos con el colador y coloca el líquido en un frasco
- Coloca 5 ml del jugo en un recipiente de vidrio y agrega una pizca de ablandador de carne
- Agita la mezcla y deja reposar de 5-10 min
- Agrega 5-10 ml, de alcohol frío por la pared del tubo con mucho cuidado
- Con una varilla enrolla poco a poco los fragmentos grandes de ADN



<http://accioncientifica.blogspot.mx/2010/10/jugar-a-ser-cientifico-con-mago-ciencia.html>  
<http://www.ck12.org/ck12:science:open-science-2.html>

Anexo 9. Instrucciones del juego “Manipulando el ADN”.

# Manipulando el ADN

**Objetivo:** Durante este juego aprenderás los principios básicos de la manipulación de la información genética, donde con la ayuda de algunas enzimas los científicos modifican la secuencia de los nucleótidos del ADN

**Reglas del juego:**

- Juega con respeto y tolerancia
- Sigue las instrucciones cuidadosamente
- Cuida los materiales que te proporcionará la profesora

**INSTRUCCIONES:**

1. La profesora entregará un kit de juego para cada equipo.
2. Cada equipo deberá elegir donde cortar la secuencia para introducir uno de los tres genes incluidos en el kit.
3. Introduce el gen que elegiste en la secuencia de ADN con ayuda de tijeras y pegamento. Las tijeras representan enzimas de restricción y el pegamento a la enzima ligasa.
4. Recuerda que al introducir el gen, este se integrará a la información genética de la célula receptora, modificando el color de ojos\* que has elegido.

**Secuencia que cortarás.**

A A C C T T G G A T C T

**Enzimas de restricción**

Ojos verdes → C T T G A G

Ojos azules → T T C G A A

Ojos miel → G A G T G A

**Ligasa**

\*Por simplicidad, en este juego sólo se proporciona el gen más importante para determinar el color de los ojos. Sin embargo es importante aclarar que son 10 genes los que determinan el color de ojos.

<http://biocmadreusampa1.blogspot.mx/2017/07/imagenes-para-photocopy-protobiotica-y-23.html>  
[http://edupoint.com/que-es-0a01\\_1429/](http://edupoint.com/que-es-0a01_1429/)  
<https://ghr.nlm.nih.gov/pri/frames/fruits/eye-color>



Anexo 10. Instrucciones del juego “Decifrando la información genética”.

## Descifrando la información genética: ¿Cómo secuenciamos el ADN?

**Objetivo:** Durante este juego aprenderás a descifrar la información genética almacenada en el ADN, identificando los nucleótidos de diferentes secuencias y simulando una de las técnicas más utilizadas en la ingeniería genética.


**Reglas del juego:**

- Juega con respeto y tolerancia
- Sigue las instrucciones cuidadosamente
- Cuida los materiales que te proporcionará la profesora

**INSTRUCCIONES:**

1. Formar equipos de 6-7 personas de acuerdo a las indicaciones de la Profesora
2. En la mesa que te sea asignada, encontraras piezas de madera de distintos tamaños y con colores en la punta , además de una hoja de registro.
3. Ordena las piezas de mayor a menor tamaño formando una escalera.
4. Una vez ordenada la escalera, determina la secuencia de nucleótidos de la escalera comenzando con pieza de mayor tamaño hasta la pieza más pequeña con la ayuda del código de colores que se te presenta a la derecha (A verde, T roja, C azul, G negro).
5. Registra la secuencia descifrada en tu mesa en la tabla proporcionada.
6. Deja las piezas de madera como las encontraste y pasa a la siguiente estación repitiendo los pasos anteriores.
7. Cuando termines de descifrar las siete secuencias contesta las preguntas de tu hoja de registro.

A: Adenina  
T: Timina  
C: Citosina  
G: Guanina



120 130  
GAT AAATCT GGTCTTATTTCC

[https://es.wikipedia.org/wiki/Secuencia\\_de\\_ADN](https://es.wikipedia.org/wiki/Secuencia_de_ADN)  
<https://historyy biografias.com/genoma1/>

Anexo 11. Tabla de llenado para el juego de secuenciación.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MÉXICO**

Juego: Descifrando la información genética: ¿Cómo secuenciamos el ADN?

Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Elaboró: Profesora Elizabeth Dalila Frausto Sotelo

Biología contemporánea, Unidad 3. Biotecnología.

Nombre del Alumno 1: \_\_\_\_\_ Nombre del Alumno 2: \_\_\_\_\_

Nombre del Alumno 3: \_\_\_\_\_ Nombre del Alumno 3: \_\_\_\_\_

Nombre del Alumno 4: \_\_\_\_\_ Nombre del Alumno 5: \_\_\_\_\_

Nombre del Alumno 6: \_\_\_\_\_ Nombre del Alumno 7: \_\_\_\_\_



No. de mesa	Nucleótido									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Revisa los resultados con los integrantes de tu equipo y respondan las siguientes preguntas: a) ¿Cuántas secuencias son iguales? ¿En cuáles mesas las encontraste?

\_\_\_\_\_

b) ¿Cuáles secuencias son diferentes entre sí? ¿Cuántos cambios en nucleótidos existen entre ellas?

\_\_\_\_\_

c) ¿A qué se debe que las secuencias sean diferentes entre sí? Expliquen su respuesta

\_\_\_\_\_

Anexo 12. Caso que se utilizó en el presente trabajo.



**Maestría en Docencia para la Educación Media Superior  
Universidad Nacional Autónoma de México**



Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios - CBTIS No. 94

**Asignatura: Biología Contemporánea.**

**Tema: Biotecnología**

**Grado:** \_\_\_\_\_

**Grupo:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

<b>NOMBRE DE LOS INTEGRANTES DEL EQUIPO</b>	<b>SEXO</b>	<b>EDAD</b>
1.-		
2.-		
3.-		
4.-		
5.-		

**INTRUCCIONES:** Lee cuidadosamente, sigue las indicaciones y contesta las preguntas que se encuentran al final de cada apartado.

**PARTE I. ¿Y tú qué harías?**

Ayer el papá de Marcos le contó que estaba preocupado porque, hace 10 años el lago de Pátzcuaro no se veía tan sucio, que hoy en día se ve basura flotando por todo el lago, además de que a veces se puede percibir un olor fétido. También le dijo a Marcos que ya no hay peces blancos, ni ambistomas, que antes se podían mirar incluso algunas carpas grandes, tan grandes que llegaban a pesar 6 kilos. Hoy se ven muchas carpas, pero tan pequeñas que no pesan más de 200 gr. ¡Todo es tan extraño! Me gustaría saber que está pasando en el lago y si yo puedo hacer algo para que el lago sea como lo recuerda mi papá.

Intenta imaginar como era antes el lago, ¿Puedes hacerlo?, ¡Ves que lindo! ¿Qué le habrá pasado al lago para que ahora sea tan diferente?, ¿Te gustaría saber que está pasando?.

Preguntas:

¿Qué causas estarán afectando la presencia o ausencia de los organismos que viven en el lago?

---

---

---

---



¿De acuerdo a tus conocimientos de biología qué podrías hacer para restaurar las condiciones del lago? \_\_\_\_\_

---

---

## PARTE II. Una chica muy especial.

### *Chlorella vulgaris*

Las microalgas son organismos microscópicos que habitan en distintos cuerpos de agua. Estas microalgas son fotosintéticas, por lo que aportan oxígeno al ambiente, además de que sirven como alimento para otros organismos.

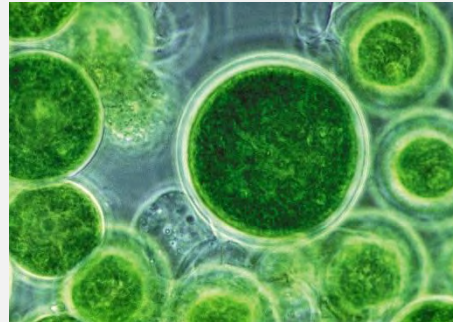


Figura 1. Imagen de *Chlorella vulgaris*.

*Chlorella vulgaris* (Fig. 1) es un microalga verde de forma esférica que mide de 2 a 10 micras de diámetro, y que ha desarrollado adaptaciones que la hacen especial entre otras microalgas. Algunas de estas adaptaciones incluyen su capacidad de unirse a otras células de *C. vulgaris* formando cadenas de hasta 8 organismos para protegerse de depredadores. Otra adaptación, es su alta asimilación de distintos nutrientes del ambiente y alta tolerancia a metales en el agua, lo cual le permite sobrevivir en condiciones ricas de nutrientes, así como en ambientes contaminados. Esta microalga tiene además una alta tasa de reproducción, y su cultivo implica un bajo costo económico, por lo que esta pequeña amiga se ha utilizado para los tratamientos de aguas residuales, donde han obtenido hasta un 90% de eficiencia en mejorar la calidad del agua tratada. Aunque aún no se ha probado su eficiencia en cuerpos de agua naturales, es claro que esta microalga tiene un gran potencial para remediar cuerpos de agua contaminados.

Imagen tomada de: <https://yesnatural.eu/propiedades-chlorella/>

Preguntas:

Antes de contestar revisa el siguiente video: Introducción a la biorremediación (<https://www.youtube.com/watch?v=FHKDr57rT2s>)

De acuerdo al video y a lo que entendiste define ¿Qué es para ti la biorremediación? \_\_\_\_\_

De acuerdo con el video, ¿qué aspectos se deben de considerar antes de utilizar un organismo para biorremediación? \_\_\_\_\_

Recordando el problema de contaminación en el lago de Pátzcuaro, ¿Se podría utilizar algún organismo para mejorar la calidad del agua del lago? ¿Cuál y por qué?

¿Cuáles son los riesgos que conlleva el introducir organismos a ambientes donde no han existido antes? ¿Qué alternativa propones para reducir los riesgos?

### PARTE III. La manipulación del ADN en la Biotecnología.

¿Sabías que existen técnicas que nos permiten modificar el ADN de los organismos? Estas técnicas se han implementado principalmente en la industria alimenticia y farmacéutica, si quieres saber más revisa la siguiente página: <https://es.khanacademy.org/science/biology/biotech-dna-technology/intro-to-biotech-tutorial/a/intro-to-biotechnology>



Imagen: <http://paraquesirve.info/para-que-sirve-la-biotecnologia->

Si aún tienes dudas sobre la biotecnología puedes revisar el siguiente video: <https://www.youtube.com/watch?v=RY6zjwOBQWI>

Preguntas:

Es posible elaborar algún producto en tu casa a partir de lo que sabes de biotecnología, ¿Cuál producto y cómo lo harías?

¿Qué harías para disminuir la contaminación del lago utilizando técnicas de manipulación de ADN y manipulación de organismos?

---

---

¿Para qué nos sirve manipular el ADN de un organismo? \_\_\_\_\_

¿Cuáles son las implicaciones de la manipulación del ADN? \_\_\_\_\_

---

---

#### **PARTE IV. Cuestión de reflexión, ¿Bueno o Malo?**

Para poder opinar sobre los posibles beneficios y riesgos de cualquier biotecnología, es importante que primero entiendas la biología básica que la fundamenta. A continuación se presentan fuentes de información que te ayudarán a comprender un poco más la biotecnología, y de esta manera podrás formar tu propio punto de vista.

Revisa los siguientes videos:

- <https://www.youtube.com/watch?v=IKP6TmCdh5M> (Ver hasta el minuto 6)
- <https://www.youtube.com/watch?v=z09SPgpAX2Q>
- <https://www.youtube.com/watch?v=7TmcXYp8xu4>

Sabemos que tienes curiosidad por saber más sobre este tema tan interesante, te recomiendo que inicies tu propia investigación en fuentes confiables e imparciales.

Instrucciones: Complementa el siguiente cuadro.

Biotecnología	
Puntos a favor	Puntos en contra
1.- _____	1.- _____
2.- _____	2.- _____
3.- _____	3.- _____
4.- _____	4.- _____
5.- _____	5.- _____

Referencias Bibliográficas:

Ahmad, F., Khan, A., Yasar, A. 2013. The potential of *Chlorella vulgaris* for wastewater treatment and biodiesel production. *Pak.J. Bot.* 45(S1): 461-465.

Campbell N. A., Reece J. B. 2005. Biología. Séptima edición. Editorial Médica Panamericana. Impreso en España. 1397 pp.

Huerto, D.R. y Vargas, V.S. 2014. Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro. Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Vol. II, 214pp.

## Anexo 13. Cuestionario de conocimientos declarativos



### UNIVERSIDAD AUTONÓMA DE MÉXICO MADEMS ENES MORELIA



Elaboró: Profesora Elizabeth Dalila Frausto Sotelo

Biología contemporánea, Unidad 3. Biotecnología.

Nombre del Alumno: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

INSTRUCCIONES: Lee cuidadosamente las siguientes cuestiones y encierra la respuesta correcta.

1.- El hecho de que los ojos de un individuo sean semejantes a los de su madre se debe a:

A) La genética B) La evolución C) La taxonomía D) La ecología E) Una mutación

2.- ¿Cómo se le llama a la unidad básica de la herencia?

A) Gen B) Fenotipo C) ARN D) Genotipo E) Carácter

3.- Los genes están conformados por:

A) Proteínas B) Carbohidratos C) Lípidos D) Ácidos nucleicos E) Aminoácidos

4.- Señale el inciso que da continuidad a la serie: Nucleótido - ADN – gen \_\_\_\_\_

A) Genoma B) Núcleo C) Célula D) Tejido E) Órgano

5.- Indique cuáles de los siguientes puntos corresponden al ADN:

- A. Contiene desoxirribosa
- B. Contiene ribosa
- C. Su estructura es de cadena corta
- D. Su estructura es de cadena larga
- E. Su estructura es una sola cadena
- F. Su estructura es una doble cadena
- G. Contiene timina
- H. Contiene uracilo
- I. Es parte del proceso de traducción
- J. Es el principal sustento de la información genética

6.- Señale la opción que no corresponde al conjunto:

- A) Gen      B) ADN      C) Alelo      D) Cromosoma      E) Mitocondria

7.- ¿Cómo se denomina el proceso de copia de una molécula de ADN, que resulta en dos moléculas de ADN exactamente iguales?

- A) Mitosis    B) Meiosis    C) Replicación    D) Transcripción    E) Traducción

8.- En el proceso de replicación semiconservativa, cada molécula de ADN posee:

- A) Dos cadenas nuevas      B) Una cadena antigua y una nueva  
C) Dos cadenas antiguas    D) Una cadena antigua y dos nuevas  
E) Una cadena nueva y dos antiguas

9.- A las versiones diferentes de un mismo gen se les denomina:

- A) Células    B) Caracteres    C) Alelos    D) Cigotos    E) Fenotipos

10.- Al cambio espontáneo o inducido en la secuencia del ADN se le llama:

- A) Mutación    B) Transcripción    C) Selección    D) Síntesis de proteínas    E) Traducción

11.- Proceso por el cual un ser vivo puede sobrevivir en diferentes ámbitos, con características desiguales entre ellos, sin ver afectada su anatomía, o en el caso del ser humano, su sistema psicológico.

- A) Adaptación    B) Especiación    C) Comportamiento    D) Camuflaje    E) Tactismo

12.- Mediante la tecnología del ADN recombinante ha sido posible:

- A. Aislar genes específicos
- B. Cortar ADN en regiones predeterminadas
- C. Hacer mutaciones en sitios específicos
- D. Insertar en el genoma de un organismo fragmentos de ADN de otra especie
- E. Las opciones A, B, C y D son ciertas

13.- El uso de organismos vivos o sus derivados en la elaboración o modificación de procesos o productos se denomina:

- A) Biotecnología    B) Domesticación    C) Agricultura    D) Ganadería    E) Apicultura

14.- Los siguientes son procesos de biotecnología, excepto:

- A. Elaboración de pan, cerveza y vino
- B. Síntesis de insulina por medio de bacterias
- C. Elaboración de vacunas mediante el uso de frutas
- D. Desarrollo de ganado transgénico
- E. Obtención del azúcar de caña

15.- ¿Cuál de los siguientes es un ejemplo de lo que ha logrado la biotecnología en la industria?

- A. Vacunas y fármacos en alimentos
- B. Pruebas de detección de virus en la sangre
- C. Cultivos resistentes a insecticidas
- D. Microbios degradadores de reactivos contaminantes del suelo
- E. Las opciones A, B, C y D son ciertas

16.- La modificación genética de una planta es un ejemplo de:

- A. Aplicación de las leyes de Mendel
- B. Biotecnología en la agricultura
- C. Evolución por selección natural
- D. Reproducción asexual
- E. La forma en que se reproducen los organismos unicelulares

17.- En el arroz dorado, las plantas han sido modificadas por inserción de dos genes que tienen por efecto final la producción y acumulación del beta-caroteno en los granos. El proceso mediante el cual se consigue esto se llama:

- A. Pigmentación
- B. Genética no mendeliana
- C. Agricultura
- D. Ecología
- E. Ingeniería genética

18.- La cruce selectiva, el congelamiento de espermatozoides y de embriones, la inseminación artificial y la creación de madres sustitutas son prácticas comerciales rutinarias efectuadas en mamíferos que han permitido a los ganaderos criar -y literalmente crear- especímenes de alta calidad y productividad. Estas actividades son ejemplos de:

- A. Tecnología de alimentos
- B. Evolución por selección natural
- C. Biotecnología en la ganadería
- D. Genética mendeliana
- E. Biotecnología en la agricultura

19.- La introducción de un rasgo novedoso en un organismo (p. ej. la inserción del gen humano de la insulina en el genoma de la bacteria *Escherichia coli*) es un ejemplo de:

- A) Genómica      B) Regeneración      C) Evolución      D) Reproducción asexual  
E) E. Ingeniería genética

20.- ¿Cómo se denomina el estudio sistemático de la conducta humana, respecto de valores y principios morales en la biología?

- A) Bioética      B) Estética      C) Semántica      D) Moralidad      E) Religión

**INTRUCCIONES:** Lee cuidadosamente lo que se te pide y redacta un ensayo con una extensión mínima de una cuartilla.

De acuerdo al enfoque de la Biotecnología, desarrolla una estrategia para mejorar las condiciones de un lugar contaminado con metales pesados o para diseñar una nueva tecnología o producto. En tu ensayo, debes identificar claramente si utilizarías técnicas de manipulación de ADN o sólo manipulación de organismos, además de discutir cuáles serían los riesgos y beneficios de tu propuesta.



Anexo 14. Rúbrica para evaluar la pregunta abierta de la prueba.

<b>Rubro a evaluar</b>	<b>Muy bueno</b>	<b>Bien</b>	<b>Regular</b>	<b>Suficiente</b>	<b>Insuficiente</b>
Redacción	El texto se entiende claramente, sin o con muy pocos errores ortográficos. <b>2pt</b>	Se entiende la idea que quiere transmitir, con pocos errores ortográficos. <b>1.5pt</b>	Se puede entender lo que quiere decir, existen errores ortográficos. <b>1pt</b>	Mala redacción y ortografía, se entiende con esfuerzos lo que quiere decir. <b>0.5pt</b>	Mala redacción y ortográfica, no se entiende lo que quiere decir. <b>0.pt</b>
La propuesta incluye información vista en clases.	Es clara y la relaciona con varios conceptos y técnicas vistas en clases. <b>2.5pt</b>	Es clara y la relaciona con al menos dos conceptos y técnicas vistas en clases. <b>2pt</b>	Poco clara pero se puede entender y hace mención a un concepto o técnica vista en clases. <b>1.5pt</b>	Poco clara se puede entender pero no hace mención a ningún concepto ni técnica vista en clases. <b>1.0pt</b>	No es claro y confunde las ideas. <b>0.5pt</b>
La propuesta Incluye ideas propias	Plantea una idea clara y explica detalladamente el procedimiento. <b>2.5pt</b>	Plantea una idea clara y la explica. <b>2pt</b>	Plantea una idea poco clara. <b>1.5pt</b>	Plantea una idea sin explicar. <b>1.0pt</b>	No se entiende lo que está proponiendo. <b>0.5pt</b>
Incluye las riesgos y beneficios	Incluye más de tres ventajas y tres desventajas. <b>2pt</b>	Incluye dos ventajas y dos desventajas de su propuesta. <b>1.5pt</b>	Incluye una ventaja y una desventaja de su propuesta. <b>1pt</b>	Incluye por lo menos una ventaja o desventaja de su propuesta. <b>0.5pt</b>	No incluye ninguna ventaja, ni desventaja. <b>0pt</b>
Extensión (cuartilla)	Una cuartilla <b>1pt</b>	Media cuartilla <b>1pt</b>	Un tercio de cuartilla <b>0.75pt</b>	Un cuarto de cuartilla <b>0.75pt</b>	Un párrafo <b>0.5pt</b>



## Anexo 15. Encuesta de opinión.

Nombre del alumno: \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_  
Edad: \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:** Lee cuidadosamente las siguientes preguntas, las cuales hacen referencia al tema que la profesora Elizabeth Frausto abordó. Elige tus respuestas con honestidad.

1.- ¿Te gustó el tema de biotecnología que se abordó en clases?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

2.- ¿Consideras que las clases fueron interesantes?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

3.- ¿Qué tan útil consideras lo que aprendiste en estas clases?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

4.- ¿Te gustó como se dieron las clases?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

5.- ¿Te gustaba participar durante las clases?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

6.- Cuando la maestra explicaba ¿Te quedaba claro lo que decía?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

7.- ¿Te pareció difícil el tema que se abordó?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

8.- ¿Te gustaron las actividades que se utilizaron para ver el tema?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

9.- ¿Te gustaría que tus clases se aborden de esta manera con mayor frecuencia?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

10.- ¿Tú interés por el tema ha aumentado como resultado de las actividades que realizaste?

Mucho ( ) Regular ( ) Poco ( ) Nada ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

11.- ¿Qué piensas de la Biología como Ciencia después de abordar este tema?

---

---

---

---

**Comentarios:** ¿Qué cambiarías o agregarías para que las clases de este tema sean mejores?

---

---

---

---

---

---

Anexo 16 Imágenes de los grupos

Fotos: Copiando el ADN



Fotos: La fuerza de la selección.





Fotos: Jugando a ser científico.



Fotos: Manipulando el ADN.



Fotos: Descifrando la información genética: ¿Cómo secuenciamos el ADN?







Fotos: Aprendizaje Basado en Casos (ABC)

