



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
BIOLOGÍA

SECUENCIA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DEL TEMA CLONACIÓN DE ORGANISMOS A TRAVÉS DEL CINE DE CIENCIA FICCIÓN Y DEL PENSAMIENTO CRÍTICO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

PRESENTA:

MARÍA ELENA MARTÍNEZ MOLINA

COMITÉ TUTOR:

DRA. PATRICIA RIVAS MANZANO, FACULTAD DE CIENCIAS

DRA. REYNA ELENA CALDERÓN CANALES, CCADET

DR. ALEJANDRO BYRD OROZCO, FES ACATLÁN

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. ENERO 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.

Agradecimientos

A la UNAM y el CONACYT por la oportunidad para realizar mis estudios de posgrado.

A la Dra. Patricia Rivas Manzano por ser mi *coach* en lo académico y en lo personal.

A la Dra. Elena Calderón, el Dr. Alejandro Byrd, el Dr. Luis Felipe Jiménez y el Dr. Jorge Luis Gardea por su colaboración y disposición.

A mi mamá Lucía, mi hijo Daniel, mi amigo Yair y mis hermanas Clara y Alejandra por su apoyo. También a mi gato *Copy* por su compañía.

Al Dr. Fidel Zorrilla, Mtra. Consuelo Arce, Dr. Aurelio López y Mtro. Ricardo Guadarrama por sus enseñanzas durante la maestría.

A la Profa. Nilsa Villar y Profa. Elisa Ramírez por ser mis supervisoras docentes; gracias también a los estudiantes que participaron en la ejecución de este proyecto.

Y finalmente, gracias a mis compañeros MADEMS Biología generación 2016-1 por formar parte de esta historia.

Resumen

Al acceder al estudio de temas científicos, específicamente de genética, los estudiantes poseen una serie de ideas previas que son fruto, en gran medida, de lo que manejan los medios de comunicación. Por ejemplo, la mayoría de las películas de ciencia ficción que abordan la clonación representan que los clones se generan directamente como individuos adultos, sin alusión ni explícita ni implícita de gestación previa. Tales significados producen obstáculos para la construcción de conocimiento genético formal. Este trabajo es una propuesta para que a partir de dichos obstáculos y una perspectiva educativa basada en el pensamiento crítico, se mejore la enseñanza-aprendizaje del tema clonación de organismos en el bachillerato. Así, se presenta el desarrollo de una secuencia didáctica que se construyó tras varios ciclos iterativos de diseño, aplicación, evaluación y mejora. Los resultados sugieren que los estudiantes participantes muestran un avance en la claridad conceptual del tema al distinguir entre clonación en la ciencia y en la ficción cinematográfica y poner en uso habilidades del pensamiento crítico a través del diálogo.

Índice de contenido

Introducción	1
Capítulo 1: El problema de investigación.....	3
1. Genética: enseñanza-aprendizaje	3
1.1 Ideas previas de genética y medios de comunicación	7
2. Genética en el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)	8
2.1 Clonación... clonación... clonación...	10
3. Planteamiento del problema	12
4. Pregunta de investigación.....	13
5. Objetivos	13
6. Justificación	14
Capítulo 2: Marco teórico	15
1. Clonación de organismos: conceptos y antecedentes históricos	15
2. Cine y ciencia.....	24
2.1 Ciencia ficción	25
2.3 Enseñar con ciencia ficción	25
2.4 Clonación de película	27
3. Pensamiento crítico: aproximación conceptual	28
3.1 Habilidades	30
3.2 Disposiciones	31
3.3 Enseñar ciencias y pensamiento crítico	33
3.4 Diálogo y pensamiento crítico	36
Capítulo 3: Metodología.....	38
1. Investigación de diseño	38
1.1 Experimentos de enseñanza	39
2. Fase 1: Investigación preliminar	41
3. Fase 2: Desarrollo y pilotaje	42
3.1 Secuencia didáctica Clonación, clonación, clonación... 1	43
3.1.1 Sesión 1	43
3.1.2 Sesión 2	46
3.1.3 Sesión 3	47
3.1.4. Evaluación final	50
3.2 Secuencia didáctica Clonación, clonación, clonación... 2	51
3.2.1 Sesión 1	51
3.2.2 Sesión 2	55
3.2.3 Sesión 3	56
3.2.4. Evaluación final	58

3.3 Secuencia didáctica Clonación, clonación, clonación... 3	59
3.3.1 Sesión 1	59
3.3.2 Sesión 2	63
3.3.3 Sesión 3	64
3.3.4. Evaluación final	67
Capítulo 4: Análisis de resultados	71
1. Evaluación de la secuencia didáctica 1	71
1.1 Evaluación diagnóstica.....	71
1.2 Evaluación formativa.....	73
1.3 Evaluación sumativa.....	79
2. Evaluación de la secuencia didáctica 2	82
2.1 Evaluación diagnóstica	82
2.2 Evaluación formativa	84
2.3 Evaluación sumativa	88
3. Evaluación de la secuencia didáctica 3.....	91
3.1 Evaluación diagnóstica	91
3.2 Evaluación formativa	92
3.3 Evaluación sumativa	99
3.4 Evaluación del <i>pretest</i> y del <i>postest</i>	100
Capítulo 5: Discusión y conclusiones.....	110
1. Sobre la secuencia didáctica 1	110
2. Sobre la secuencia didáctica 2	111
3. Sobre la secuencia didáctica 3	113
4. Conclusiones generales	114
Perspectivas	116
Referencias	117

Introducción

La presente investigación expone el desarrollo de la secuencia didáctica *Clonación... clonación... clonación...* a partir de varias experiencias de diseño, aplicación, evaluación y mejora. Si bien cada secuencia tiene sus propias características, tienen en común el sustento en el cine de ciencia ficción y en el pensamiento crítico para facilitar el aprendizaje de los estudiantes de bachillerato. Ésta se divide en cinco capítulos.

En el primer capítulo se define el contexto general y específico de la investigación. Enseguida se presenta el planteamiento del problema y la pregunta de investigación. Después se destacan el objetivo general y los objetivos particulares. En la última sección se expone la justificación de la propuesta.

En el segundo capítulo se presentan tres aspectos que orientan la construcción de la secuencia didáctica: la clonación de organismos, el cine de ciencia ficción y el pensamiento crítico. En la primera sección se expone el desarrollo histórico del contenido disciplinar. La segunda sección se dedica a especificar cómo favorecer la enseñanza con el cine de ciencia ficción. En la tercera sección se describe cómo promover la enseñanza en torno a la formación del pensamiento crítico.

En el tercer capítulo se destacan las características principales de la investigación de diseño, específicamente de los experimentos de enseñanza, metodología que guio la investigación. Enseguida se detalla la fase de investigación preliminar al igual que la fase de desarrollo y pilotaje, y se especifican las actividades y criterios de evaluación de cada secuencia didáctica propuesta.

En el cuarto capítulo se describen y analizan los resultados obtenidos en cada intervención. También se proponen algunas mejoras para los diseños subsecuentes. Para la tercera y última secuencia, se presentan y comparan los resultados tras la aplicación de un *pretest* y un *postest*.

En el quinto y último capítulo se discute la evaluación de cada secuencia didáctica como facilitadora del aprendizaje. Finalmente, se presentan las principales conclusiones de la investigación.

El problema de investigación

En este capítulo se exponen los elementos esenciales que definen la presente investigación. Por consiguiente, se plantea el contexto en que se enmarca el estudio, se formula el problema de investigación y se presenta la propuesta general para abordarlo.

1. Genética: enseñanza-aprendizaje

La genética es la ciencia que estudia la transmisión de la información hereditaria de una generación a la siguiente, su objeto de estudio son los genes, los cuales pueden abordarse desde la perspectiva molecular, bioquímica, celular, organísmica, familiar, poblacional o evolutiva (Rodríguez et al., 2016). Esta disciplina, es una de las más tratadas en la didáctica de la biología porque es la base conceptual para la comprensión de la evolución y, por lo tanto, de la propia biología (Bugallo, 1995).

Hace algunas décadas, Johnstone et al., (1980 citado por Bugallo, 1995) realizaron un estudio para determinar cuáles eran los contenidos de biología más difíciles de aprender, posteriormente Finley et al., (1982 citado por Bugallo, 1995) investigaron cuáles eran los contenidos considerados más difíciles de enseñar en ciencias. En ambos trabajos, la genética aparecía en los primeros puestos de dificultad; estos resultados mostraron la necesidad de investigar con mayor profundidad sobre la enseñanza-aprendizaje de la biología y particularmente de la genética (Bugallo, 1995). Desde entonces, se ha producido un notable incremento en las investigaciones sobre ésta.

En la década de los noventa se hicieron diversas propuestas, en la Tabla 1.1 se muestran algunas.

Tabla 1.1 Investigaciones sobre enseñanza-aprendizaje de la genética (90's).

Enfoque	Autor
Proponer estrategias innovadoras para enseñar contenidos de genética	San Valero (1995)
Analizar resultados de otras investigaciones sobre su didáctica	Bugallo (1995)
Indagar sobre el conocimiento que tienen los estudiantes de sus contenidos	Banet et al., (1995)
Analizar el tipo de actividades que se plantean y cómo se introducen estos contenidos en bachillerato	Ayuso et al., (1996)
Revisar trabajos previos con el fin de reflexionar acerca de la problemática de su aprendizaje	Banet et al., (1998, 2000)

A partir del año 2000 las investigaciones se orientaron a estudiar los enfoques que se presentan en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Investigaciones sobre enseñanza-aprendizaje de la genética (2000).

Enfoque	Autor
Conocimientos y actitudes sobre biotecnología	Aznar (2000)
Determinar el conocimiento sobre contenidos de genética	Jiménez et al., (2000)
Analizar trabajos sobre la enseñanza de la genética y concepciones	Ayuso et al., (2002)
Examinar las implicaciones del razonamiento en el aprendizaje de las ciencias y el uso de la argumentación	Zohar et al., (2002)
Analizar el contenido de genética en textos de educación no universitaria	Martínez (2003)
Explorar los eventos en los cuales los estudiantes construyen conocimientos sobre ingeniería genética tomando en cuenta la implicación en problemas morales	Sadler et al., (2003)
Aplicar proyectos de investigación escolar como actividad para aprender sobre sus contenidos básicos	Andrioli et al.,(2005)
Proponer unidades didácticas para trabajar los contenidos	Codina (2005)
Aplicación de problemas de ingeniería genética	Sadler et al., (2005)

En los últimos años la investigación se ha centrado en la resolución de situaciones que se muestran en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Investigaciones sobre enseñanza-aprendizaje de la genética (actualidad).

Enfoque	Autor
Problemas de genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia	Martínez et al., (2006)
Nuevas tecnologías aplicadas a la enseñanza de genética	Boude et al., (2007)
Ideas de los estudiantes sobre conceptos básicos antes de enfrentarse a la enseñanza y aprendizaje de genética con el fin de detectar confusiones terminológicas	Caballero (2008)
Identificación de explicaciones erróneas que dificultan la comprensión de la genética para reorientar las decisiones sobre el tipo y la secuenciación de actividades de enseñanza	Corbacho et al., (2009)
Análisis de las técnicas utilizadas por docentes para desarrollar los temas de genética e identificar los diferentes estilos de aprendizaje	Chavarría et al., (2012)
Situaciones que dificultan el aprendizaje de contenidos de genética para proponer su organización en la educación a distancia	Bernal et al., (2012)
Uso de recursos web para aprender genética	Domènech et al., (2012)
Propuestas didácticas fundamentadas en los principios del constructivismo para el aprendizaje de la genética	Íñiguez et al., (2013)
Propuestas de enseñanza para producir mejores actitudes y aprendizajes de genética en los estudiantes	García et al., (2015)

La mayoría de estas investigaciones señalan que las ideas previas son una de las causas del escaso aprendizaje de la genética.

Es bien sabido que cuando afrontamos el aprendizaje de nuevos contenidos no tenemos un total desconocimiento acerca de los mismos. A través de diversas fuentes hemos recibido información sobre ellos y hemos construido nuestras propias concepciones o ideas previas, que hacen referencia a concepciones que no han sido transformadas por la acción docente en el aula y que pocas veces coinciden con las que se consideran correctas (Caballero, 2008).

La investigación sobre las ideas previas en la enseñanza-aprendizaje de la genética ha sido muy prolifera. En este sentido, Wood et al., (1998, 2000) identificaron las siguientes:

- La ingeniería genética tiene como propósito diseñar organismos a la medida.
- La clonación es el proceso de copiado de genes, ADN o material genético.

- El código genético es un identificador personal como lo es un código de barras.
- Dos células podrían tener diferentes genes porque son de diferentes personas, cada individuo tiene su propia identidad en genes, como una huella digital.
- Los genes determinan cómo eres, que personalidad tienes y los obtienes tanto de tu padre como de tu madre
- El ADN es la escalera en la cual todo está almacenado.
- Las células tienen diferentes cromosomas, diferentes genes y diferente información genética porque tienen diferentes roles o cumplen con diferentes trabajos.
- La información genética de un hombre y una mujer ha tenido que ser diferente, porque si fuera la misma una mujer podría lucir como un hombre.
- Los espermatozoides tienen diferentes genes y diferente información genética.
- La información genética en los óvulos debe ser distinta, porque si no serías exactamente igual a tu hermano.
- Existen cromosomas machos y cromosomas hembra, los machos van hacia los espermatozoides y las hembras van al óvulo.
- En una célula fecundada, los genes y la información genética podrían ser diferentes porque es un nuevo individuo que viene de un óvulo y un espermatozoide distinto.
- La información genética en las células fertilizadas es diferente a la que hay en las somáticas, porque las células somáticas tienen una función y las fertilizadas dicen cómo será el cuerpo, cómo debe crecer éste.

Del mismo modo, se ha investigado sobre el origen de tales ideas, al respecto, Locolla (2005) señala que se constituyen a partir de nuestra propia experiencia para permitirnos interpretar los fenómenos del mundo cotidiano. Pero también se conforman a partir de la información, el conocimiento y los modelos de pensamiento que recibimos y transmitimos a través de la tradición, la educación y la comunicación social.

En este sentido, Pozo (1998 citado por Locolla, 2005) refiere que en la sociedad de la información en la que vivimos, los medios de comunicación desempeñan una función cada vez más relevante en la difusión de ideas previas.

1.1 Ideas previas de genética y medios de comunicación

Hace cuatro décadas Porcher (1976 citado por Grilli, 2016) puso de manifiesto la existencia de una escuela paralela conformada por los medios de comunicación y dentro de ellos la combinación TV-cine como preponderante. Esta “escuela” es portadora de sus propios códigos, lenguajes, normas y valores, además, se fortalece con *internet* y las nuevas tecnologías digitales. En las sociedades actuales, los audiovisuales son parte esencial de los medios de comunicación más importantes. Vivimos inmersos en esta realidad, que representa otra escuela, promotora de actitudes, valores, concepciones de ciencia, creencias, ideas, en fin, cultura... (Grilli, 2016).

Según Caballero (2008), el conocimiento del genoma humano, las posibilidades de obtener clones humanos, los alimentos transgénicos, el uso del ADN en criminología o la determinación de paternidad son ejemplos de los muchos aspectos de la genética que están apareciendo cada vez con más frecuencia en los medios de comunicación.

Asimismo, Moreno (2004, citado por Gómez et al., 2011) refiere que la televisión es la fuente de información prioritaria a la que acceden los ciudadanos para informarse de forma pasiva sobre ciencia y tecnología, donde podemos incluir la emisión de cine y series.

Lo anterior no es de extrañarse, pues según la empresa IBOPE-AGM México que realiza estudios sobre los hábitos de consumo de los mexicanos en materia de productos de comunicación, prácticamente la totalidad de hogares mexicanos, es decir el 98.8 por ciento tiene acceso a la televisión (Rodríguez, 2014).

Del mismo modo, el INEGI señala que la población joven del país de entre 12 y 19 años de edad consume televisión un promedio de cuatro horas por día, lo cual representa casi mil quinientas horas al año. Esta cifra es prácticamente el doble del tiempo que pasan los adolescentes en el salón de clases (Rodríguez, 2014).

Así, la televisión, el cine y otras opciones disponibles a través de *Internet*, hacen que la genética sea parte de nuestra cotidianidad. Los medios de comunicación se convierten en integrantes fundamentales de una escuela paralela a la enseñanza de la genética, es decir forman parte del origen de las ideas previas, ya que las fomentan o las generan, convirtiéndolas en obstáculos epistemológicos para la construcción de conocimiento en la educación formal (Abril et al., 2004, 2013, 2015).

2. Genética en el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)

El estudio formal de la genética tiene lugar, en nuestro sistema educativo, a nivel medio y medio superior. En el CCH, los contenidos genéticos están insertos en el curso de Biología I, el cual tiene como objetivo contribuir a la formación integral de los estudiantes en este campo del saber, a través de la adquisición de los conocimientos y principios propios de esta disciplina, así como propiciar el desarrollo de habilidades, actitudes y valores que les permitan enfrentar con éxito los problemas relativos al aprendizaje de nuevos conocimientos en este campo (Programas de Estudio. Área de Ciencias Experimentales. Biología I, 2016).

Las unidades que integran el programa de Biología I se muestran en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Unidades del Programa de Estudios de Biología I, CCH.

Unidad 1	¿Por qué la biología es una ciencia y cuál es su objeto de estudio?
Unidad 2	¿Cuál es la unidad estructural, funcional y evolutiva de los sistemas biológicos?
Unidad 3	¿Cómo se transmiten los caracteres hereditarios y se modifica la información genética?

La forma de abordar el estudio de la genética en el bachillerato CCH es la siguiente: durante la primera y segunda parte de la unidad 2 se introduce al estudiante en el estudio de la célula así como la estructura y función celular. Dicho conocimiento permite tratar durante el resto de la unidad algunos conceptos relacionados con la genética como son ciclo celular y mitosis. Finalmente, en la unidad 3 se estudia meiosis, gametogénesis, herencia mendeliana, teoría cromosómica, mutación y manipulación del ADN. En este último contenido se consideran los

organismos transgénicos, la terapia génica, el Proyecto Genoma Humano y la clonación de organismos; este es el tema a tratar en la presente investigación.

De tal manera que en la última unidad se estudian los contenidos directamente relacionados con la genética. Dicha unidad tiene como propósito que el estudiante identifique los mecanismos de transmisión y modificación de la información genética, como responsables de la continuidad y cambio en los sistemas biológicos, para que comprenda su importancia biológica y evolutiva (Programas de Estudio. Área de Ciencias Experimentales. Biología I, 2016).

Es importante señalar que el CCH forma parte de la oferta educativa de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), junto con la Escuela Nacional Preparatoria, para realizar estudios de bachillerato propedéutico. La creación de este sistema (CCH) fue una de las propuestas innovadoras de la Universidad a principios de la década de los setenta. En su modelo educativo destaca la importancia concedida a la participación de los estudiantes en su aprendizaje y la formación en los lenguajes y métodos de las ciencias y las humanidades (Hernández, 2006).

Por tanto, el estudio de la biología en el CCH contribuye a lograr que a la cultura básica del bachiller se incorporen conocimientos, habilidades intelectuales, actitudes y valores que favorezcan una interpretación más lógica, racional y mejor fundada de la naturaleza a través de la ciencia; que disminuya la incidencia del pensamiento mágico y doctrinario como explicación del mundo natural, además de buscar que la interacción del estudiante con la sociedad, la tecnología y el ambiente sea más consciente y responsable (Comisión Especial para la Actualización de los programas de Biología I y Biología II. Propuesta, 2013).

De esta forma, las prácticas educativas en este Colegio están asociadas con la formación de ciudadanos participantes, más autónomos, donde se privilegia el aprender a aprender y el pensamiento crítico (Durand, 2002 citado por Hernández, 2006).

2.1 Clonación... clonación... clonación...

La genética como disciplina científica experimenta un notable desarrollo. Cada vez aparecen más alimentos y productos farmacéuticos derivados de organismos modificados genéticamente. La terapia génica se usa a menudo en el tratamiento de desórdenes genéticos. La secuenciación de genomas se hace frecuentemente y la clonación es motivo permanente de debate. En este contexto, Turney (1995 citado por Wood-Robinson *et al.*, 1998) ha sugerido tres motivos principales para desarrollar la comprensión de la genética en los estudiantes: un motivo utilitario, uno democrático y uno cultural.

El motivo utilitario se relaciona con proporcionar a los estudiantes los conocimientos que pueden llegar a necesitar en los diversos contextos personales, por ejemplo, frente a un desorden genético, tendrán que decidir no sólo a partir de lo que han entendido como resultado de su relación con los especialistas sino también a partir de sus propios conocimientos de genética.

El motivo democrático implica que los estudiantes apliquen sus conocimientos para participar en las controversias científico-tecnológicas, por ejemplo, ante la investigación en este campo, la ciudadanía debe tomar decisiones en un clima de información, en vez de hacerlo en un clima de ignorancia.

El motivo cultural conlleva a que los estudiantes conciban los avances genéticos como un logro cultural de la sociedad moderna, por ejemplo, la importancia social de la revolución del ADN iniciada por Watson y Crick hace más de sesenta años.

Así, la clonación está vinculada con estos tres motivos y con los propósitos institucionales del CCH, de ahí la importancia de su enseñanza-aprendizaje.

Además, la clonación suscita una gran polémica fuera del ámbito estrictamente académico. Sobre ella se debate en los medios de comunicación y, por tanto, se construye una imagen pública del asunto, donde se involucran los intereses de empresas biotecnológicas, científicos, gobiernos, grupos sociales organizados, comités éticos y representantes de la

iglesia. Todos tienen algo que opinar, todos intentan institucionalizar sus visiones (Gómez et al., 2011).

A nivel general, los medios de comunicación han especulado sobre los hipotéticos usos de esta técnica, casi siempre relacionados con las biofantasías generadas a partir de la clonación de seres humanos. En este sentido, Alcívar (2007 citado por Gómez et al., 2011) señala que en los escenarios comunicativos las principales motivaciones para practicar la clonación son: la megalomanía, representada en el deseo de resucitar a líderes históricos; el niño reemplazo, tipificada en la clonación del hijo fallecido; el clon como banco de órganos, los clones como piezas de repuesto para sus originales, y la última oportunidad de la pareja estéril.

Específicamente en el cine, la clonación se convierte en un fenómeno social a nivel planetario, se multiplican las películas cuyos argumentos se relaciona con esta práctica científica y los productores aprovechan su transformación en asunto mediático para conseguir mayores audiencias. Además, las cintas pertenecen a los principales estudios cinematográficos, lo cual facilita su distribución y promoción a escala mundial, así como un fácil acceso a todos los públicos a través de *Internet*. De esta forma, el mensaje que se emite en las cintas es mucho más poderoso (Gómez et al., 2011).

De acuerdo con Cavanaugh et al., (2004), el cine de ciencia ficción, el género en el que se representa con mayor frecuencia la clonación, funciona como una exposición permanente a la ciencia y a la tecnología, ya que de este es de donde la mayoría de las personas obtienen sus dosis regulares de ciencia, lo cual es bueno y a veces no tanto. Es bueno porque crea imágenes tangibles de ideas abstractas. Se le da al público una visión del futuro y un empujón hacia lo que es real. Sin embargo, el buen drama y la buena ciencia no son siempre la misma cosa. Las películas simplifican y subvierten lo científico para cumplir con las necesidades de la narración dramática.

Por ello, los docentes están en batalla constante para cambiar las concepciones erróneas de los estudiantes que están inspirados y confundidos por las películas y programas de televisión que ven. Sin embargo, estas películas también pueden abrir una maravillosa oportunidad

para involucrar a los estudiantes y fomentar una mayor comprensión e interés (Cavanaugh et al., 2004).

Según una investigación realizada en la Universidad de Purdue, los programas de televisión y películas de ciencia ficción son las influencias más fuertes en los estudiantes para la promoción de la ciencia (Shitu et al., 2012). Del mismo modo, Cavanaugh et al., (2004) refieren que el uso de la ciencia ficción permite a los estudiantes experimentar temas avanzados y abstractos, experimentar una amplia variedad de temas científicos, situar los conceptos en un nuevo contexto, lo cual proporciona una nueva vía para el aprendizaje, ya que los estudiantes son más propensos a recordar la información que han obtenido de manera entretenida y agradable. Además, la discusión de películas de ciencia ficción desarrolla la comprensión de los procesos de la ciencia, la interconexión de las disciplinas científicas, proporciona una fuerte motivación para el aprendizaje de contenidos e impulsa a pensar críticamente sobre el contenido científico presentado en el cine.

Respecto a pensar críticamente, en las últimas décadas se ha convertido en un imperativo educacional a escala internacional, así, varios currículos enfatizan la necesidad de que los estudiantes aprendan ciencia en una forma que les permita evaluar críticamente cuestiones científicas y tecnológicas (Zohar, 2006). En este sentido, Benjamin (1989, citado por Boisvert, 2004) atribuye la importancia de la formación del pensamiento crítico en los estudiantes a razones como necesidad de tratar con eficiencia el creciente caudal de información que hay en la sociedad. Del mismo modo, Keen (1989, citado por Boisvert, 2004) sostiene que es esencial enseñar a los estudiantes a pensar de modo crítico para que tengan más armas con las cuales contrarrestar las imágenes televisivas con que se les bombardea y se defiendan mejor contra la propaganda a la que están expuestos.

3. Planteamiento del problema

Tal como se ha expuesto, la enseñanza y el aprendizaje de la genética han sido objeto reiterado de investigación por parte de la didáctica de la biología. Sin embargo, los resultados indican que continúa siendo escasamente comprendida (Figini et al., 2005).

El origen de las dificultades para su enseñanza-aprendizaje puede rastrearse en distintas fuentes, por ejemplo, los medios de comunicación. En este sentido, una investigación reciente muestra que existe una relación entre las ideas sobre genética transmitidas por las películas y las ideas previas de los estudiantes (Abril et al., 2015).

De esta manera, hemos identificado que uno de los principales problemas de la enseñanza-aprendizaje de esta disciplina reside en que cuando se enseña genética se ignora la existencia de lo que Porcher (1976, citado por Grilli, 2016) denomina la escuela paralela, es decir, los medios de comunicación como fuente permanente de información con una importante dimensión educadora; así como la posibilidad de aprovechar educativamente dicha fuente para favorecer el aprendizaje y hacer de los estudiantes personas más activas, más partícipes y con capacidad de selección, elección y crítica.

En este contexto, se considera necesario diseñar propuestas para la enseñanza basadas en los medios de comunicación como potenciales recursos didácticos para fomentar el aprendizaje y las capacidades intelectuales de los estudiantes.

4. Pregunta de investigación

¿Cómo diseñar, implementar y evaluar una secuencia didáctica para bachillerato que incorpore el cine de ciencia ficción como recurso didáctico para la enseñanza del tema clonación de organismos y fomente el pensamiento crítico?

5. Objetivos

General:

Diseñar, implementar y evaluar una secuencia didáctica para bachillerato que incorpore el cine de ciencia ficción como recurso didáctico para la enseñanza del tema clonación de organismos y, a su vez, fomente el pensamiento crítico.

Particulares:

- Diseñar actividades para la enseñanza del tema clonación de organismos que incorporen películas de ciencia ficción y promuevan el pensamiento crítico.

- Implementar dichas actividades en grupos de biología del bachillerato CCH.
- Evaluar si dichas actividades favorecen el aprendizaje del tema y el pensamiento crítico.

6. Justificación

El diseño de una secuencia didáctica es importante porque contribuye a mejorar la cultura científica de los estudiantes de bachillerato. La cultura científica se trata de que el estudiante posea un bagaje suficiente de conocimientos sobre hechos, conceptos, estructuras conceptuales y habilidades que le permitan tomar decisiones, interpretar información, justificar sus puntos de vista, etcétera; así como ser capaz de apreciar el valor de la ciencia y de entender sus limitaciones.

En este sentido, la propuesta es diseñar una secuencia didáctica para que los estudiantes de biología del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) aprendan el contenido (clonación de organismos) y, al mismo tiempo, fomentar su pensamiento crítico al emitir juicios sobre la información presentada en las películas que tratan el tema, lo cual les permitirá valorar sus implicaciones sociales.

Marco Teórico

En este capítulo se presenta, en la primera parte, el proceso histórico del contenido disciplinar a enseñar. En la segunda y tercera parte se abordan los principios que orientan la enseñanza de las ciencias a través del cine de ciencia ficción y del pensamiento crítico, respectivamente.

1. Clonación de organismos: concepto y antecedentes históricos

Conceptualmente, el proceso de clonación consiste en la obtención de un clon, un clon es un “elemento” genéticamente idéntico a su precursor. Este “elemento” puede ser una célula, un tejido, un órgano o un organismo pluricelular completo (Herráez, 2012).

En todos los temas de la biología pero en este en particular, el análisis de los antecedentes históricos en la construcción del concepto, permiten conocer los problemas conceptuales y dificultades metodológicas enfrentados por los científicos de la época, en la construcción del concepto y aplicación de la clonación como la conocemos hoy en día, y aportan diversas claves para introducir a los estudiantes en la integración, comprensión y construcción del conocimiento conceptual.

Como tema de ciencia en los medios, la clonación de organismos se arraigó con fuerza en el imaginario colectivo en febrero de 1997, cuando se dio a conocer la clonación de la oveja *Dolly*. Sin embargo, la clonación surgió muchos años atrás al tratar de dar respuesta a interrogantes en torno a la biología del desarrollo (McLaren, 2003).

La biología del desarrollo se encarga de estudiar uno de los fenómenos más apasionantes de la biología, es decir, cómo un óvulo fecundado se convierte en un organismo completo. Su estudio comenzó con Hipócrates en Grecia en el siglo V antes de Cristo, el cual trató de explicar el desarrollo en términos de principios de calor, humedad y solidificación (Wolpert et al., 2010).

Aproximadamente un siglo después, el filósofo griego Aristóteles se centró en el problema de cómo se formaban las diferentes partes del embrión y consideró dos posibilidades: una

de ellas consistía en que todo en el embrión estaba preformado desde el principio y simplemente incrementaba su tamaño durante el desarrollo; la otra proponía que las nuevas estructuras se originaban progresivamente, proceso al que denominó epigénesis (que significa “formación sucesiva”) y que relacionaba metafóricamente con el “proceso de tejer una red”. Aristóteles defendió la epigénesis y su conjetura fue correcta (Kind et al., 2008; Wolpert et al., 2010).

La influencia de Aristóteles sobre el pensamiento europeo fue enorme y sus ideas prevalecieron hasta bien entrado el siglo XVII. Sin embargo, el preformismo se convirtió en la doctrina más extendida en la Europa de los siglos XVII y XVIII (Kind et al., 2008; Wolpert et al., 2010).

El problema de la preformación y de la epigénesis fue objeto de un gran debate durante el siglo XVIII, pero se resolvió con la teoría celular, desarrollada entre 1820 y 1880 por Theodor Schwann y Matthias Schleiden, la cual postuló que los seres vivos, incluidos los embriones, estaban compuestos por células que son las unidades básicas de la vida, y que se originan únicamente mediante divisiones a partir de otras células. Por lo tanto, el desarrollo no estaba basado en la preformación sino en la epigénesis, debido a que durante ese proceso muchas células nuevas se generan mediante división a partir de la célula huevo y se forman nuevos tipos celulares (Kind et al., 2008; Wolpert et al., 2010).

Una vez que se aceptó que las células del embrión se originaban mediante división a partir de la célula huevo o cigoto, se planteó la interrogante de ¿cómo las células llegan a ser diferentes entre sí? Tratando de responder a tal cuestión, en la década de 1880, el biólogo alemán August Weismann propuso un modelo denominado “en mosaico”. En este, planteaba que el núcleo de la célula huevo o cigoto contenía un número de factores especiales o determinantes y, mientras el cigoto experimenta ciclos rápidos de división celular (segmentación), esos determinantes podrían distribuirse desigualmente entre las células hijas y de este modo controlarían el desarrollo futuro de las células. Por tanto, el destino de cada célula estaba predeterminado por los factores de la célula huevo que podrían actuar sobre ella durante la segmentación. También señaló que las divisiones celulares tempranas

deben hacer a las células hijas bastante diferentes entre sí como resultado de la distribución desigual de los componentes nucleares (Wolpert et al., 2010).

En 1888 las ideas de Weismann fueron sustentadas por el embriólogo alemán Wilhelm Roux, quien experimentó con embriones de rana. Después de permitir que se produjera la primera segmentación de un óvulo de rana fecundado, Roux destruyó una de las dos células con una aguja caliente y halló que la célula restante se desarrollaba en la mitad de una larva bien formada. Llegó así a la conclusión de que el desarrollo de la rana se basaba en el mecanismo en mosaico, y que las células tenían sus características y su destino determinados en cada segmentación. Sin embargo, en 1892 el biólogo alemán Hans Driesch repitió el experimento con erizo de mar y obtuvo un resultado bastante diferente (Wolpert et al., 2010).

Driesch descubrió que sólo con agitar los embriones de erizo de mar en las etapas bicelular y tetracelular, era posible separar sus células. Él esperaba que cada fragmento siguiese creciendo hasta convertirse en la mitad de un erizo de mar adulto, pero se encontró con que cada uno daba lugar a un embrión completo (Fig. 2.1). Al respecto escribió:

“Pero las cosas resultaron como deberían ser y no como yo esperaba; a la mañana siguiente eso fue típicamente una gástrula entera sobre mi placa, que difería sólo por su pequeño tamaño de la gástrula normal; y esta gástrula pequeña pero entera se desarrolló en una larva típica y completa”.

El hallazgo de Driesch significaba que cada célula aislada reguló su desarrollo para producir un organismo completo, por lo tanto, la teoría de Weismann era incorrecta (Kind et al., 2008; Ball, 2012). Dado que Driesch produjo organismos genéticamente idénticos (clones), a veces es considerado como pionero en la clonación de animales (Newton, 2015).

Del mismo modo, en 1902 el embriólogo alemán Hans Spemann, quien también quería refutar definitivamente la teoría de Weismann, utilizó un cabello de bebé para separar un embrión bicelular de salamandra e indujo la formación de dos embriones (clones), producidos por la técnica que hoy denominamos gemelación artificial (Fig. 2.2). De esta manera, Spemann concluyó que cada célula seguía siendo totipotente, es decir, capaz de generar un organismo completo, al menos en esta fase (Montoliu, 2004; Klotzko, 2006).

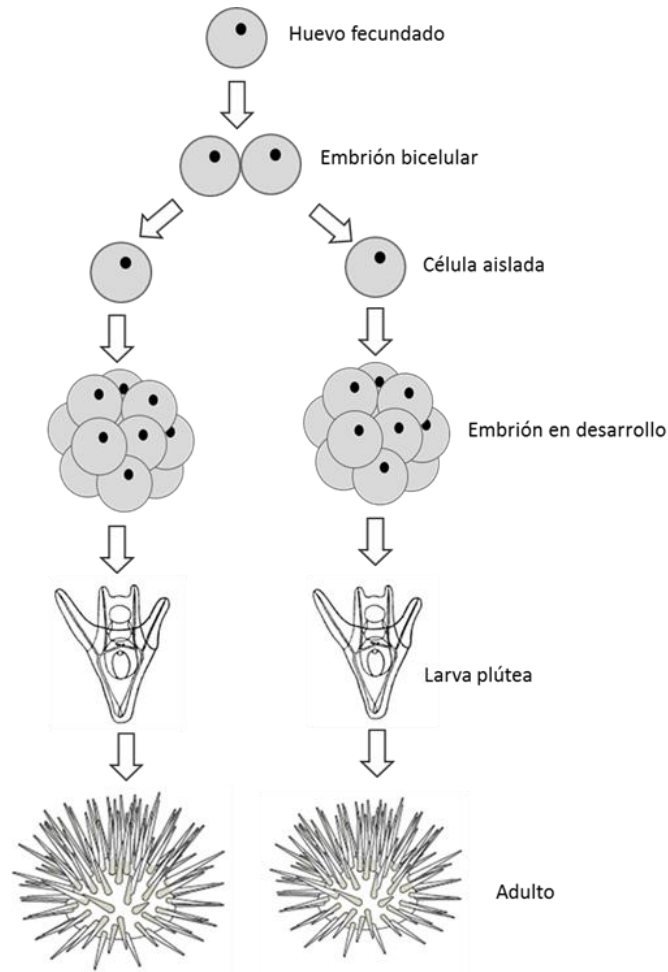


Fig. 2.1 Experimento de Hans Driesch (1892). Elaboración propia.

En este contexto, Spemann continuó experimentando para dilucidar la importancia del núcleo y del citoplasma en el control de los eventos del desarrollo. Así que, en 1928 usando de nuevo un cabello de bebé, escindió un embrión unicelular de salamandra en dos partes, una de las cuales contenía el núcleo de la célula. Al desarrollarse, esta parte se dividió y formó un embrión, mientras que la otra permaneció como una bolsa clara de citoplasma. El embrión siguió desarrollándose hasta alcanzar la fase de 16 células. En ese momento, se devolvió un sólo núcleo al citoplasma vacío. Esta célula única se convirtió en un embrión de salamandra normal en una fase ligeramente anterior (Fig. 2.3). Este experimento, considerado el primero de transferencia nuclear (técnica que permite la producción de individuos genéticamente idénticos), puso de manifiesto que el núcleo de las células

embrionarias en sus primeras fases de desarrollo, era capaz de formar un organismo completo (Kind et al., 2008).

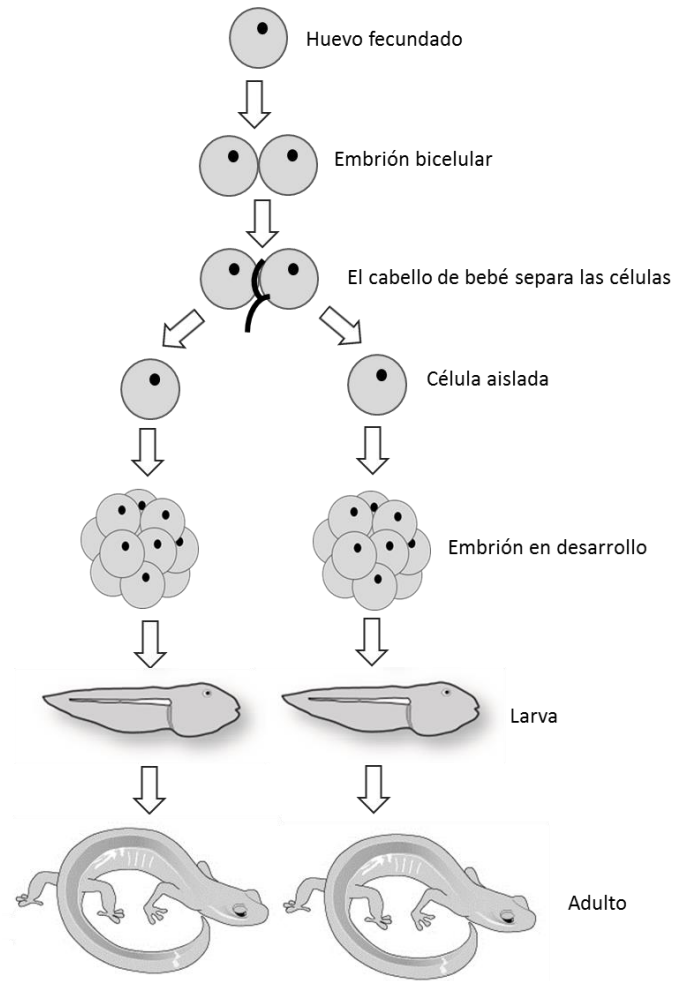


Fig. 2.1 Experimento de Hans Spemann (1902). Elaboración propia.

Se cuenta que en 1936, cuando Spemann ya estaba jubilado, propuso lo que el mismo llamó un experimento propio del mundo de la fantasía, ya que si se extraía el núcleo de una célula en fase más avanzada de desarrollo y se ponía en un óvulo cuyo núcleo sería previamente extraído, sería factible identificar de forma sistemática el momento en el que las células conservan o pierden su capacidad para formar un organismo completo (Kind et al., 2008). Ésta es, en principio, la base de los experimentos de transferencia nuclear.

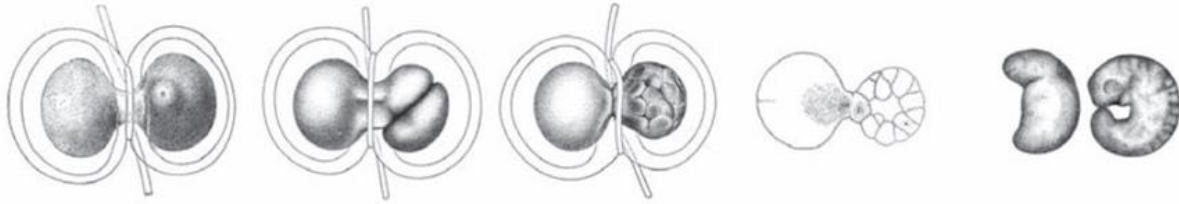


Fig. 2.3 Experimento de transferencia nuclear de Spemann (1928). Tomado de Kind et al., 2008.

Muchos años después, en 1952, los biólogos americanos Robert Briggs y Thomas King pusieron en práctica el experimento fantástico de Spemann. Para ello, extrajeron los núcleos de los óvulos de rana americana (*Rana pipiens*) e insertaron nuevos núcleos de células de embriones. Luego, las células fueron pinchadas con una aguja para estimular su división. Aunque la mayoría se arruinó en este proceso, algunos huevos se desarrollaron y generaron renacuajos completos que finalmente se convirtieron en ranas (Fig. 2.4). Así, Briggs y King produjeron los primeros clones por transferencia nuclear de una célula somática y concluyeron que la eficiencia de la transferencia nuclear disminuye con el grado de diferenciación del núcleo (Klotzko, 2006; Pierce, 2010).

A fines de la década de 1960, el biólogo británico John Gurdon al tratar de verificar la propuesta de Briggs y King, utilizó transferencia nuclear somática para clonar una especie de rana sudafricana (*Xenopus leavis*). Para ello, Gurdon introdujo núcleos de células somáticas de epitelio intestinal de renacuajo en un óvulo enucleado y obtuvo clones fértiles adultos (Fig. 2.5). La conclusión más importante de este estudio fue que la diferenciación celular no está acompañada de inactivación irreversible del genoma (Palma, 2001).

Todos los experimentos descritos hasta ahora, sentaron las bases para posteriores investigaciones en otras especies. De este modo, en 1975, el biólogo británico Derek Bromhall intentó clonar conejos por transferencia nuclear de células somáticas, pero todos los embriones clónicos murieron en las fases embrionarias iniciales (McLaren, 2003).

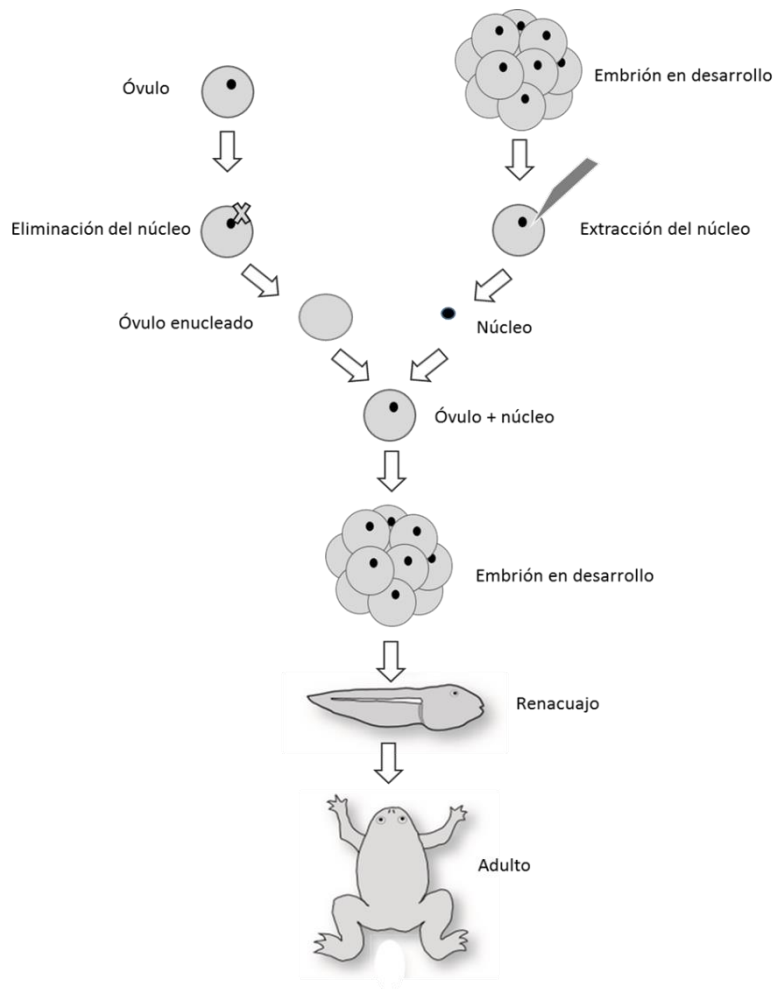


Fig. 2.4 Experimento de Briggs y King (1952). Elaboración propia.

Posteriormente, en 1979, el embriólogo danés Steen Willadsen, quien estaba interesado en clonar ganado, clonó la primera oveja mediante gemelación artificial o escisión de un embrión bicelular. Tiempo después lo logró por transferencia nuclear de células embrionarias (McLaren, 2003; Ball, 2012).

En los años siguientes, la transferencia nuclear y la gemelación artificial se llevó a cabo en distintos mamíferos, pero sólo tenían éxito utilizando células embrionarias en fases iniciales o cultivadas durante periodos de tiempo muy cortos (Kind et al., 2008).

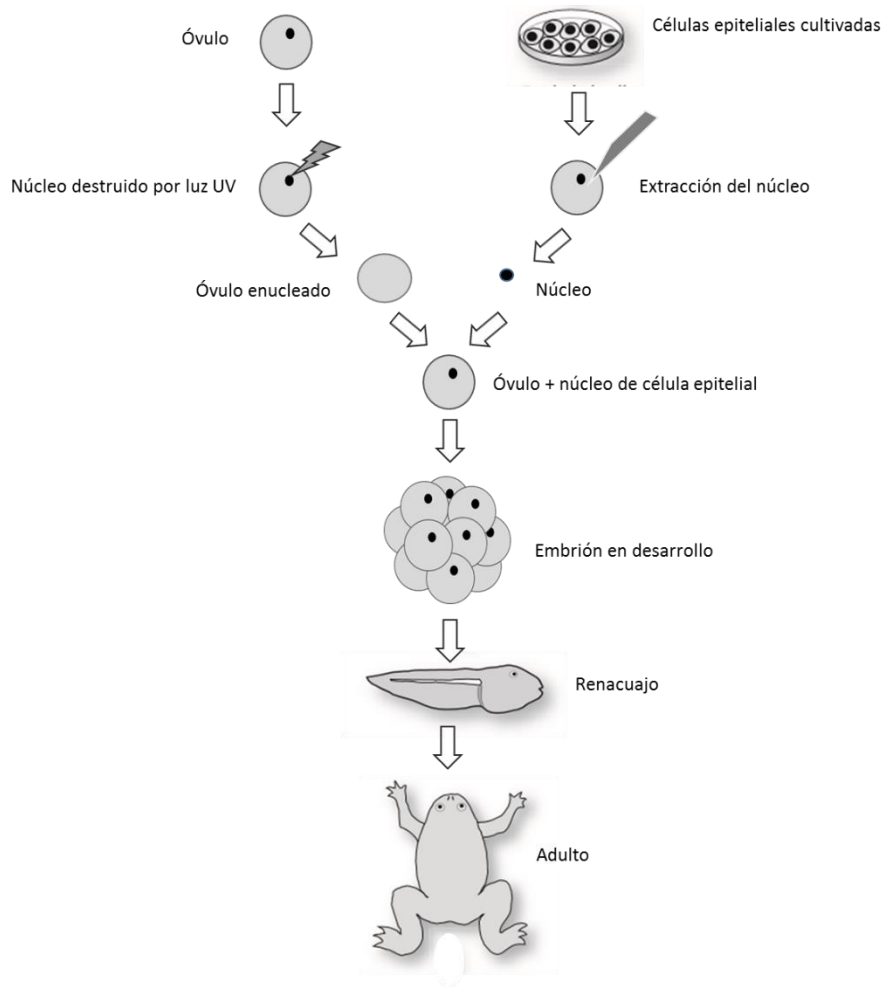


Fig. 2.5 Experimento de John Gurdon (1960). Elaboración propia.

Sin embargo, en 1995, Ian Wilmut y Keith Campbell, del Instituto Roslin, un laboratorio de investigación estatal de Escocia, empezaron a estudiar cómo la elección del ovocito receptor y la fase del ciclo celular del donante nuclear afectaban al resultado de la transferencia nuclear. Sus investigaciones les permitieron clonar dos ovejas llamadas Megan y Morgan a partir de células embrionarias diferenciadas, las cuales habían cultivado durante varias semanas para que no hubiese dudas sobre su condición (Kind et al., 2008).

Tras el éxito de Megan y Morgan, Wilmut y Campbell decidieron utilizar núcleos de células adultas. Para ello, obtuvieron y cultivaron *in vitro* células de la ubre de una oveja adulta de raza *Finn Dorset* (oveja con cara blanca); estas células diferenciadas y en fase G0 se fusionaron con óvulos a los que previamente se les había extraído el núcleo, provenientes

de una oveja de raza *Scottish Blackface* (con cara negra). A estos óvulos, a los cuales se les introdujo el material genético proveniente del núcleo de células mamarias, se les activó utilizando una leve descarga eléctrica, induciéndolas a dividirse. Cuando los embriones llegaron a poseer entre ocho y dieciséis células (estadio de mórula), se implantaron en el útero de otra oveja *Scottish Blackface*. Transcurridos 148 días nació un cordero de 0.6 kg de peso, totalmente blanco, al cual posteriormente se le llamó *Dolly* (Fig. 2.6), el primer mamífero obtenido a partir de una célula diferenciada adulta. La oveja *Dolly* nació el 5 de junio de 1996; su nacimiento fue anunciado siete meses después, el 23 de febrero de 1997, y murió el 14 de febrero de 2003 (Morcillo et al., 2013). Así, *Dolly* fue la culminación de décadas de investigación para descartar el concepto de determinación celular irreversible.

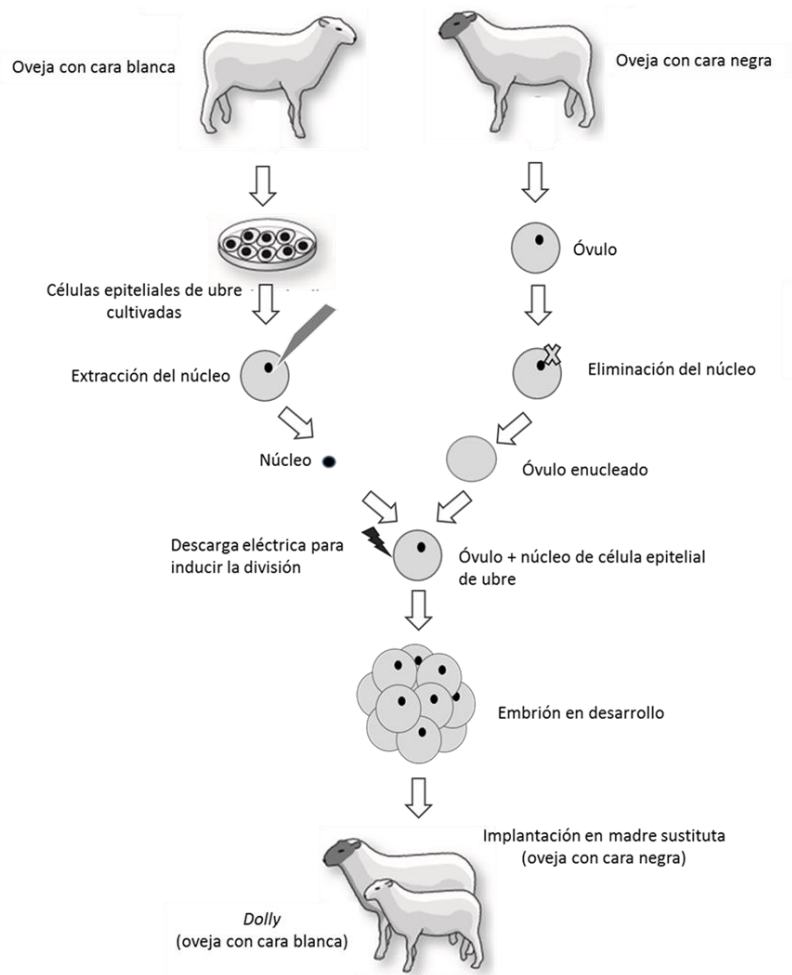


Fig. 2.6 Experimento de Wilmut y Campbell (1996). Elaboración propia.

Después de *Dolly*, se han logrado clonaciones a partir de células diferenciadas provenientes de una gran diversidad de tejidos y en múltiples especies, la gran mayoría domésticas (Velarde, 2004).

2. Cine y ciencia

La relación entre cine y ciencia se remonta a los orígenes del primero. Según Tosi (1993), antes de nacer como espectáculo, el cine fue inventado con metas estrictamente científicas, es decir, con fines de investigación y documentación de fenómenos dinámicos. Un ejemplo, es el uso del cronofotógrafo de Marey, utilizado por el antropólogo Félix Regnault en el verano de 1895 para filmar en la Exposición Colonial de París la fabricación a mano de un florero por parte de una mujer negra. Los dos años siguientes, Regnault lo utilizó para filmar el comportamiento locomotor de la población de color, particularmente, para estudiar el modo de trepar a los árboles (Tosi, 1993).

Otro ejemplo es el de Orchansky, quien en los últimos años del siglo XIX filmó la trayectoria que siguen los ojos durante la lectura y supo discernir en este movimiento lo referente a los músculos oculares, y lo concerniente a las posiciones de la cabeza. Del mismo modo, el astrónomo francés Camille Flammarion proyectó en diciembre de 1897 ante la Sociedad Astronómica Francesa, un filme de aproximadamente tres minutos que presentaba dos rotaciones del globo terrestre como si fuera visto desde la Luna. Naturalmente se trataba de las tomas de un modelo. Flammarion llamó a su técnica cosmocinematografía y anunció que se proponía realizar algunas otras demostraciones astronómicas sobre el Sol, Marte y Júpiter (Tosi, 1993).

En el año 1900, la empresa británica *Urban Trading* comenzó a producir documentales sobre ciencia. Sin embargo, en apenas unos años, este invento varió sus objetivos, y a la representación fiel de la realidad científica del momento, se sumó la invención de historias (Gómez et al., 2011). Desde entonces, el cine ofrece un múltiple universo de posibilidades, pero dentro de este universo hay un género especialmente interesante, el de la ciencia ficción.

2.1 Ciencia ficción

Hay un acuerdo tácito entre los especialistas sobre la falta de una definición satisfactoria de lo que es la ciencia ficción. De ahí que convenga considerarla como una narrativa de ideas, una narrativa formada por historias en las que el elemento determinante es la especulación imaginativa. Algo de eso hay en la sentido popular que considera “ciencia ficción” cualquier perspectiva especulativa y con pocas posibilidades de existencia en el mundo real actual (Barceló, 2008).

Es evidente que la especulación de la ciencia ficción se realiza con una voluntad básicamente artística y en absoluto científica. Sin embargo, la palabra “ciencia” en la denominación del género, refleja el interés por meditar sobre las consecuencias que los cambios y los descubrimientos científicos y tecnológicos producen o producirán en los individuos y la sociedad. Para ello, utiliza la pregunta ¿Qué sucedería si...? en torno a hipótesis que se consideran extraordinarias o todavía demasiado prematuras para que puedan presentarse en el mundo real y cotidiano (Barceló, 2008).

Del mismo modo, la ciencia ficción ofrece la posibilidad de maravillarnos. Los nuevos mundos y seres, las nuevas culturas y civilizaciones, las nuevas posibilidades de la ciencia y de la tecnología, nos presenta un nuevo universo que contemplamos maravillados y sorprendidos, adentrándonos en nuevos mundos de posibilidades. Si a ello se añade la espectacularidad de los efectos especiales cuando la ciencia ficción se expresa en el medio cinematográfico, es fácil comprender por qué nos atrae fácilmente (Barceló, 2005).

Precisamente especulación y sentido de la maravilla son las características que permiten que la ciencia ficción constituya un magnífico punto de partida para desarrollar el interés por las ciencias (Sari, 2003 citado por García, 2006).

2.3 Enseñar con ciencia ficción

La ciencia ficción, en sus diferentes vertientes (literatura, cine y *cómic*), empezó a hacerse popular en los años cuarenta y cincuenta del siglo XX, precisamente con autores que disponían de sólidos conocimientos científicos como Isaac Asimov, famoso autor de ciencia

ficción, doctor en química y profesor universitario (Barceló, 2005). Durante aquellos años, la ciencia ficción predominante era la llamada ciencia ficción dura ya que examinaba los principios o leyes de disciplinas como la física, química, matemática, biología, astronomía o ingeniería. Posteriormente, en los setenta, comenzó una nueva corriente llamada la ciencia ficción blanda, cuyo enfoque se centraba en la parte social de las ciencias dando más peso a disciplinas como la antropología, economía, psicología y sociología (Chapela, 2014).

Justamente, Asimov fue de los primeros en proponer la enseñanza de la ciencia usando ciencia ficción. Él publicó en 1968 el artículo llamado *Intenta usar la ciencia ficción como herramienta de enseñanza*. En el cual, presenta como ejemplo la historia llamada *Big Bounce de Walter S. Travis*, en la que se habla de una sustancia como el caucho que cada vez bota más alto, enfriándose con cada salto. Asimov sugiere que después de leer esta historia se pueden discutir conceptos como el de energía o si la sustancia está violando la segunda ley de la termodinámica (Chapela, 2014).

En la utilización didáctica de una película resulta fundamental la integración de actividades como la selección de secuencias donde existan errores científicos o implicaciones CTSA (ciencia, tecnología, sociedad y ambiente), las que el docente de manera estratégica puede utilizar para comparar con imágenes reales, generar debates o resolver problemas. También se pueden contrastar las posibilidades avanzadas, que los guionistas y escritores presentan, con las formas que verdaderamente se terminan plasmando o concretando en la realidad (Grilli, 2016).

La utilización de la ciencia ficción en las aulas ha ido ganando terreno. Un ejemplo lo presenta Bixler (2007) en su artículo *Enseñando evolución con ayuda de la ciencia ficción*, en el cual propone usar *La máquina del tiempo* de H.G. Wells para analizar la especiación y algunos tipos de selección. Otro ejemplo es el artículo de Derjani et al., (2009) llamado *Ciencia ficción en la enseñanza de la ingeniería química*, en este, los autores sugieren emplear un episodio de la serie *Smallville* para analizar la capacidad de Superman de transformar el carbón en diamante. Del mismo modo, en su artículo *El cine y la literatura de ciencia ficción como herramientas didácticas en la enseñanza de la física: una experiencia en el aula*, Palacios

(2007) propone utilizar superhéroes para explicar las leyes de Newton o las fuerzas de fricción.

A través de estos ejemplos, se puede evidenciar que la ciencia ficción constituye un recurso muy amplio y flexible, capaz de complementar las estrategias docentes y facilitar la adquisición de conocimiento conceptual, además de fomentar la capacidad crítica de los estudiantes (García, 2008).

2.4 Clonación de película

La clonación comenzó a representarse en el cine desde hace mucho tiempo, muestra de ello es la película *Los niños del Brasil* (1978), en la cual, la imagen de la clonación humana se representaba con fuertes dosis de realismo. Antes, dos cintas, *La resurrección de Zachary Wheeler* (1971) y *El dormilón* (1973), habían incluido en sus argumentos el tema de la clonación, pero incorporaban más la imaginación de sus creadores que algún referente científico (Gómez et al., 2011).

Sin embargo, la fantasía de la copia exacta, y la recreación artificial de vida han sido motivo de historias fílmicas más antiguas. Por ejemplo, *La invasión de los ladrones de cuerpos* (1956) y *El pueblo de los malditos* (1960), aunque en estas películas la clonación no se enuncia como tal. En la primera de ellas, los seres del espacio sustituyen a los humanos por copias idénticas carentes de voluntad, mientras que en la segunda, doce mujeres quedan embarazadas simultáneamente dando a luz doce niños de iguales características (Gómez et al., 2011).

En los años ochenta, el cine continuó explotando la fascinación y el espectáculo que suponía imaginar un mundo poblado con clones. Algunas de las cintas que se produjeron fueron: *Los clones del horror* (1979), *Los clones de Bruce Lee* (1981), *Ana de Infinito Poder* (1983), *El vivo retrato* (1986) entre otras. Sin embargo, no lograron gran comercialización (Gómez et al., 2011).

Más adelante, con los avances de la ciencia y la popularización de sus hallazgos, la clonación dejó de ser argumento de cintas menores y formó parte del cine comercial norteamericano: *Parque Jurásico* (1993), *Mis dobles, mi mujer y yo* (1996), *Alien 4*, *Resurrección* (1998), *The*

6th Day (2000), *Reply-Kate* (2002), *El enviado* (2004), *La Isla* (2005) y más. Esto ha permitido que las cintas tengan una distribución de alcance mundial (Gómez et al., 2011).

La clonación se ha representado bajo el marco de diferentes géneros. Por ejemplo, la comedia, la aventura, la acción, el suspenso, el terror y sobre todo la ciencia ficción (Gómez et al., 2011). En cualquier caso, los significados que las películas transmiten sobre el tema tienen una alta coincidencia con aquellos detectados como ideas previas de los estudiantes, dos visiones podrían verse principalmente reforzadas: 1) los clones se generan directamente como individuos adultos (sin alusión ni explícita ni implícita de gestación previa), y 2) los clones tienen las mismas características (físicas y de personalidad) del individuo “original” (Abril et al., 2015).

3. Pensamiento crítico: aproximación conceptual

La educación formal, en cualquiera de sus niveles, ha tendido, en general, a la adquisición de contenidos propios de las diversas materias y, en menor medida, a la formación de pensadores. A pesar de ello, o quizá precisamente por esta razón, en los últimos años se ha producido un notable aumento de materiales y programas que ayudan al estudiante a pensar. Sin embargo, no es suficiente con enseñar a pensar, la cuestión es enseñar a pensar críticamente (Martín et al., citado por Boisvert, 2004).

En la actualidad, existen diversas definiciones de lo que se entiende por pensamiento crítico. De hecho, esta diferencia radica en que se han ido construyendo desde enfoques filosóficos, psicológicos y educacionales. No obstante, nos interesa su estudio en relación con los procesos de enseñanza y aprendizaje. Por lo tanto, en la Tabla 2.1 se presentan las definiciones de los cinco autores más representativos del pensamiento crítico en educación.

Tabla 2.1. Definiciones de pensamiento crítico. Tomado de Boisvert (2004).

Autor	Definición
Robert H. Ennis (1985)	Un pensamiento razonado y reflexivo orientado a una decisión de qué creer o hacer.
Matthew Lipman (1991)	Un pensamiento que facilite el juicio al confiar en que el criterio sea autocorrectivo y sensible al contexto.
John E. McPeck (1981)	La habilidad y la propensión a comprometerse en una actividad con escepticismo reflexivo
Richard W. Paul (1992)	El pensamiento crítico es disciplinado y autodirigido, y ejemplifica las perfecciones del pensar adecuado ante un área particular.
Hervie Siegel (1988)	Una persona que piensa de forma crítica es quien puede actuar, evaluar afirmaciones y plantear juicios con base en razones, y que comprende y se ajusta a principios que guían la evaluación de la fuerza de estas razones.

Según Johnson (1992 citado por Boisvert, 2004), las principales convergencias que se desprenden de las cinco concepciones presentadas son las siguientes:

- El pensamiento crítico apela a muchas habilidades de pensamiento.
- Para manifestarse, requiere de información y conocimientos.
- Implica una dimensión afectiva.

Así, existe consenso entre estos y otros teóricos del pensamiento crítico de dos componentes importantes: las habilidades y las disposiciones.

3.1 Habilidades

Causado et al., (2015) señalan que las habilidades del pensamiento crítico son aquellas que facilitan la apropiación del conocimiento, de forma que operan directamente sobre la información: recogiénola, comprendiéndola, analizándola, procesándola, y sobre todo, guardándola en la memoria, para, posteriormente, poder utilizarla dónde, cuándo y cómo convenga.

De acuerdo con Ennis (2015), los pensadores críticos ideales presentan las habilidades que a continuación se presentan:

- Se centran en la pregunta
- Analizan los argumentos
- Formulan las preguntas de clarificación y las responden
- Juzgan la credibilidad de una fuente
- Observan y juzgan los informes derivados de la observación
- Deducen y juzgan las deducciones
- Inducen y juzgan las inducciones
- Emiten juicios de valor
- Definen los términos y juzgan las definiciones
- Identifican los supuestos
- Deciden una acción a seguir e interactúan con los demás
- Integran las disposiciones y otras habilidades para realizar y defender una decisión
- Proceden de manera ordenada de acuerdo con cada situación
- Son sensibles a los sentimientos, nivel de conocimiento y grado de sofisticación de los otros
- Emplean estrategias retóricas apropiadas en la discusión y presentación (oral y escrita)

Por su lado, Facione (2007 citado por Meseguer 2016) sugiere agrupar las habilidades del pensamiento crítico como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Habilidades del pensamiento crítico. Tomado de Meseguer 2016.

<p>Interpretación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Describir imparcialmente una controversia. • Glosar las ideas ajenas sin cambiar su sentido. • Diferenciar en un texto la idea principal de las subordinadas. • Aclarar el significado de una gráfica. 	<p>Análisis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar las semejanzas y las diferencias entre dos enfoques. • Detectar los argumentos empleados por una persona para defender una idea. • Identificar una suposición no enunciada. • Buscar argumentos a favor y en contra de una postura.
<p>Evaluación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Juzgar la credibilidad de una fuente informativa. • Reconocer si dos enunciados son contradictorios. • Valorar si una conclusión es coherente con sus premisas. • Juzgar si las pruebas citadas por un autor apoyan sus conclusiones. 	<p>Inferencia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prever las implicaciones de un punto de vista. • Juzgar qué información se necesita para defender una postura. • Formarse una opinión fundada tras leer sobre un asunto. • Llevar a cabo un experimento para confirmar o refutar una hipótesis.
<p>Explicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Justificar un punto de vista con argumentos sólidos. • Enunciar los resultados de una investigación y describir su método. • Representar gráficamente las relaciones entre unas ideas. • Detectar las razones que han llevado a rechazar o aceptar una postura. 	<p>Autorregulación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estar alerta a los prejuicios propios en un debate controvertido. • Preguntarse si se comprende de verdad la postura contraria. • Asegurarme de que los cálculos que presento están bien hechos. • Revisar las conclusiones propias a la vista de nuevos datos.

3.2 Disposiciones

Como ya se ha mencionado, el pensamiento crítico va más allá de un conjunto de habilidades. En este sentido Perkins et al., (1993) proponen que el elemento central del pensamiento crítico son las disposiciones, es decir, las tendencias hacia patrones particulares de comportamiento intelectual.

Según Ennis (2015), los pensadores críticos ideales presentan las disposiciones siguientes:

- Procuran una enunciación clara del problema o de la postura

- Tienden a buscar las razones de los fenómenos
- Muestran un esfuerzo constante por estar bien informados
- Emplean fuentes verosímiles y las mencionan
- Consideran la situación en su conjunto
- Mantienen la atención en el tema principal
- Procuran conservar el ánimo inicial
- Examinan las diversas perspectivas disponibles
- Manifiestan una mente abierta
- Muestran una tendencia a adoptar una postura y a modificarla cuando los hechos lo justifiquen o existan razones suficientes para hacerlo

Del mismo modo, Domínguez et al., (2006) sugieren siete disposiciones hacia el pensamiento crítico que se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Disposiciones del pensamiento crítico. Tomado de Domínguez et al., (2006).

<p>1) Mantener una mente abierta y dispuesta al cambio y lo novedoso Fortalecer una actitud de mantener una mente abierta, para explorar puntos de vista alternativos; sostener el rechazo al pensamiento estrecho, y desarrollar la habilidad para generar múltiples opciones y soluciones.</p>	<p>2) Preguntarse, detectar los problemas e investigar Reforzar la tendencia a preguntarse, probar y encontrar problemas, y el entusiasmo por averiguar; impulsar el gusto por los acertijos y fortalecer la habilidad para formular preguntas.</p>
<p>3) Elaborar explicaciones y comprender Impulsar el deseo por explorar las partes y funciones de las cosas, el interés por encontrar conexiones y explicaciones, y el desarrollo de las habilidades para integrar conceptualizaciones complejas.</p>	<p>4) Hacer planes e implementar estrategias Apoyar una conducta hacia el establecimiento de metas, para hacer y evaluar planes, para prever las consecuencias, y para evitar conducirse con una falta de rumbo; impulsar las habilidades para formular metas y planificar.</p>

<p>5) Ser intelectualmente metódico</p> <p>Impulsar un comportamiento que se base en la necesidad de precisión, organización y de ir al fondo de las cosas. Fortalecer que se tenga cuidado de cometer errores y de conducirse evitando la imprecisión, aunado con la habilidad de procesar en forma precisa la información.</p>	<p>6) Apreciar y evaluar las causas y situaciones</p> <p>Impulsar la tendencia a preguntarse sobre la información proporcionada, y para demandar aclaraciones; fortalecer la curiosidad y la necesidad de nuevas evidencias; impulsar las habilidades para sopesar y valorar las justificaciones.</p>
<p>7) Realizar metacognición</p> <p>Fortalecer las capacidades que nos permitan estar prevenidos y monitorear los procesos del propio pensamiento; impulsar el gusto por situaciones de razonamiento profundo; impulsar las habilidades de ser reflexivo y de ejercitar un control mental de los procesos del pensamiento.</p>	

Vemos pues que para pensar de manera crítica es importante que los docentes fomenten tanto habilidades como disposiciones.

3.3 Enseñar ciencias y pensamiento crítico

Según Fogarty et al., (1993 citado por Boisvert, 2004), la concepción sobre la enseñanza del pensamiento crítico evolucionó en tres fases. En la primera fase, que se remonta a principios de los años ochenta, el objetivo principal fue definir las habilidades cognitivas del pensamiento. La segunda fase, que se sitúa a mediados de los años ochenta, se centró en los procesos de pensamiento. La tercera fase, que surgió a principios de los años noventa, representa el estado actual. Esta fase integra los elementos de las dos primeras y las completa al preocuparse por la transferencia de habilidades y procesos por medio de la metacognición. Así, se adquieren las habilidades necesarias (primera fase), se utilizan en procesos de pensamiento como la resolución de problemas (segunda fase) y estas habilidades y procesos de pensamiento se aplican por último (tercera fase) a diferentes ámbitos con el fin de favorecer la transferencia de aprendizajes. Además, la reflexión sobre el

conjunto de estas operaciones, realizada por medio de la metacognición, acompaña y refuerza el aprendizaje.

Durante estas fases, surgieron diversos enfoques en torno a la enseñanza del pensamiento crítico. Por ejemplo: el enfoque general, el enfoque de infusión, el enfoque de inmersión y el enfoque mixto. El enfoque general consiste en enseñar sólo las habilidades y disposiciones del pensamiento crítico, sin relacionarlas con una materia escolar determinada. El enfoque de infusión, llamado también de impregnación, consiste en la enseñanza profunda de un tema, en el que se motive a los estudiantes a pensar de forma crítica y en el que se hagan explícitos los principios generales en los cuales se basan las disposiciones y habilidades propias del pensamiento crítico. El enfoque de inmersión, es semejante al de infusión, con la diferencia de que en éste no se exponen las reglas en curso del pensamiento crítico. El enfoque mixto combina el enfoque general, con el de infusión o con el de inmersión (Boisvert, 2004).

Sin importar el enfoque que se elija, Boisvert (2004) propone cuatro objetivos educacionales relacionados con la enseñanza del pensamiento crítico que deben considerarse: fortalecer las habilidades subyacentes a su pensamiento, como la clasificación, análisis y elaboración de hipótesis; procurar que aprendan los métodos que ayudan a pensar, como el proceso de resolución de problemas y las estrategia de autogestión (la metacognición); mejorar los conocimientos generales y personales relativos al pensamiento, es decir, las fortalezas y debilidades que presentan las propias capacidades cognitivas; y promover las actitudes que motiven a pensar, como la curiosidad, el cuestionamiento, la estimulación del acto de descubrir y la satisfacción profunda respecto de una actividad intelectual productiva.

Asimismo, el autor recomienda que en la elaboración de lecciones para desarrollar el pensamiento crítico se considere lo siguiente:

1. Presentar actividades estructuradas.
2. Fortalecer la metacognición en los estudiantes.
3. Facilitar la transferencia del aprendizaje.

Presentar actividades estructuradas permite estimular los elementos del pensamiento deseados, lo cual implica especificar los objetivos del pensamiento que se persiguen, así como precisar de forma articulada las etapas que permitirán atenderlos. En relación a fortalecer la metacognición, se sugiere efectuarlo según tres niveles que aseguran el pensamiento metacognitivo. En el primer nivel (uso consciente), el estudiante sabe qué tipo de pensamiento se ejerce y cuándo se emplea. En el segundo nivel (uso estratégico), utiliza estrategias particulares para aumentar la eficiencia del pensamiento. En el tercer nivel (uso reflexivo), examina el funcionamiento de su pensamiento antes, después o durante el desarrollo del proceso, interrogándose sobre cómo realizar una tarea intelectual y cómo mejorar su ejecución. Respecto a facilitar la transferencia del aprendizaje, es preciso propiciar que los estudiantes transfieran al exterior de la clase o a otras áreas de estudio las operaciones de pensamiento aprendidas en clase.

Ejemplo de una propuesta de enseñanza del pensamiento crítico, específicamente en educación científica, es el proyecto *Thinking in Science Classroom* (Pensando en las clases de ciencias), cuya idea central es abordar la enseñanza de las ciencias desde dos perspectivas diferentes pero complementarias: contenido y pensamiento (Zohar, 2006).

El proyecto consistió en un conjunto de actividades que el profesorado integró en su enseñanza habitual. Por ejemplo, cuando los estudiantes estaban estudiando el tema de nutrición, se les presentaban recortes de periódicos con publicidades de dietas, y ellos comparaban la información incluida en los recortes con lo que habían aprendido durante sus clases; después, respondían una serie de preguntas que animan un examen crítico de la información. Otra característica distintiva del proyecto fue el uso de la metacognición. La metacognición se refiere a hacer conscientes, a los estudiantes, de los propios procedimientos cognitivos y de controlar y regular los propios procesos de pensamiento (Zohar, 2006).

Los resultados del proyecto mostraron que el binomio contenido-pensamiento, mejora el aprendizaje de conocimiento científico y desarrolla el pensamiento de los estudiantes. Por lo tanto, el pensamiento crítico en temas de ciencias contribuye a la construcción de

conocimiento porque alienta a los estudiantes a procesar los temas aprendiendo a ser pensadores activos (Zohar, 2006).

Con base en lo anterior, la posición que se asume en esta investigación es que en la enseñanza de los contenidos disciplinares científicos, en este caso biológicos, deben considerarse los componentes del pensamiento crítico, es decir, las habilidades y las disposiciones, a fin de mejorar dos aspectos del aprendizaje: la comprensión conceptual y el pensamiento.

Es importante señalar que desarrollar el pensamiento crítico requiere de una acción sostenida y sustentada por parte del docente, de manera permanente, utilizando estrategias de enseñanza-aprendizaje interactivas y variadas. Además de requerir actividades estructuradas que promuevan el uso de estas habilidades y disposiciones e incorporen los elementos conceptuales. En este sentido, se considera que el cine de ciencia ficción representa, como estrategia didáctica, una gran posibilidad para su instrucción desde el diálogo.

3.4 Diálogo y pensamiento crítico

Como bien señala Álvarez (2010), por diálogo en el aula se entienden muchas cosas y muy distintas. Hay quienes consideran que en todas las aulas hay diálogos por el hecho de que en todas las aulas se habla de algo. Hay quienes consideran que hay conversaciones en todas las clases y solamente hay diálogos en algunas que cumplen con ciertos criterios. Hay quienes consideran que en las clases se trabaja de forma oral pero no siempre se producen ni conversaciones ni diálogos (sólo monólogos). En fin, no hay unanimidad.

En el presente estudio se entiende por diálogo lo propuesto por Burles (1999 citado por Álvarez, 2010): la interacción conversacional deliberadamente dirigida a la enseñanza-aprendizaje. En este sentido, el diálogo resulta un buen método para enseñar a pensar críticamente (Páez et al., 2005; Campos, 2007),

Sin embargo, para que el diálogo contribuya a desarrollar el pensamiento crítico debe caracterizarse por favorecer el intercambio de opiniones, ideas y puntos de vista sobre un

tópico dado para cualificar su veracidad (Páez et al., 2005). Dicho intercambio no sólo debe darse entre el docente y los estudiantes, sino también, entre los propios estudiantes; de tal manera que el conocimiento sea el resultado de la mutua interacción (Álvarez, 2010).

Además para que ocurra ese intercambio, Paul (1987 citado por Álvarez, 2010) señala que hay que dar y analizar evidencias, razonar lógicamente, identificar asunciones, mirar las consecuencias, etcétera; es decir, ejercer el pensamiento crítico.

Dada la variedad de habilidades y disposiciones del pensamiento crítico, esta propuesta se centra en juzgar la credibilidad de una fuente informativa, específicamente las películas de ciencia ficción sobre clonación y respecto a las disposiciones, se busca reforzar la tendencia a preguntarse.

No obstante, es importante resaltar que ambos componentes del pensamiento crítico no son independientes, hay una conexión recíproca entre ellos. De tal manera que al juzgar la credibilidad de una fuente informativa o reforzar la tendencia a preguntarse, también se despliegan otras habilidades y disposiciones.

De acuerdo con Álvarez (2010), enseñar a través de una metodología dialógica no es algo sencillo, aunque pueda parecer lo contrario. En general, hay escasa formación específica del profesorado en esta materia. Además en los diálogos las ideas no salen solas ni mucho menos, hay que pelearlas; por ello, muchos docentes abandonan tal tarea al no ser capaces de profundizar en las respuestas de sus estudiantes. No obstante, se considera que introducir “alguna forma de diálogo” resulta interesante para desarrollar el pensamiento crítico, pese a las dificultades.

Hasta aquí, se plantean los principios teóricos que orientan el diseño metodológico de la investigación. Por lo tanto, en el siguiente capítulo se explicará el enfoque metodológico del estudio y se describirán las fases de trabajo.

Metodología

El presente trabajo es un tipo de estudio conocido como experimento de enseñanza. Los experimentos de enseñanza se enmarcan dentro del paradigma de la investigación de diseño. Por lo tanto, al inicio del capítulo se presenta la naturaleza de la investigación de diseño, después se centra en los experimentos de enseñanza y finaliza con la descripción de las primeras fases de investigación.

1. Investigación de diseño

El presente trabajo se enmarca en la investigación de diseño o investigación basada en diseño, un paradigma metodológico, de naturaleza principalmente cualitativa, que persigue comprender y mejorar la realidad educativa a través de la consideración de contextos naturales en toda su complejidad, y del desarrollo y análisis paralelo de un diseño instruccional específico (Molina et al., 2011).

Para Confrey (2006, citado por Molina, 2006) el objetivo de las investigaciones de diseño es producir teoría que ayude a guiar la práctica educativa en el aula y a identificar prácticas de enseñanza-aprendizaje eficaces, permitiendo adaptar las condiciones de la enseñanza para influir en la probabilidad de ciertos resultados.

El mismo autor señala que constituyen investigaciones de prácticas educativas, provocadas por el uso de un conjunto de tareas curriculares noveles, cuidadosamente secuenciadas, que estudian cómo algún campo conceptual o conjunto de habilidades e ideas son aprendidas mediante la interacción de los estudiantes, bajo la guía del docente.

Así, estas investigaciones documentan qué recursos y conocimiento previo ponen en juego los estudiantes en las tareas, cómo interaccionan los estudiantes y profesores, cómo emergen y evolucionan las concepciones, qué recursos se usan, y cómo es llevada a cabo la enseñanza a lo largo del curso de la instrucción; todo ello mediante el estudio del trabajo de los estudiantes, grabaciones de vídeos y evaluaciones de la clase (Molina et al., 2006).

Según Molina et al., (2011) una de las principales fortalezas que se le reconocen a la investigación de diseño es que elimina el abismo existente entre la práctica educativa y los análisis teóricos, ya que proveen de informes situados sobre el aprendizaje de los estudiantes, relacionando directamente el proceso de aprendizaje con el modo en que ha sido promovido.

El tipo de investigación de diseño más frecuente es el experimento de enseñanza. A continuación se presenta en qué consiste, así como sus principales características.

1.1 Experimentos de enseñanza

Los experimentos de enseñanza consisten en una secuencia de episodios de enseñanza en los que los participantes son normalmente un investigador-docente, uno o más estudiantes y uno o más investigadores-observadores. La duración del experimento puede ser variable, de unas horas a un año académico, y el contexto a investigar pueden ser clases u otras situaciones de aprendizaje (Molina, 2006).

Según Molina et al., (2011) la característica principal de estos estudios es la ruptura de la diferenciación entre docente e investigador, motivada por el propósito de los investigadores de experimentar de primera mano el aprendizaje y razonamiento de los estudiantes. Así, los investigadores se convierten en una parte integral del sistema que están investigando, interaccionando con él, lo que conduce a complejas relaciones que rompen la habitual distinción entre investigadores, docentes y estudiantes.

En general, con los experimentos de enseñanza se espera que los estudiantes construyan conocimiento, que el investigador-docente construya conocimiento sobre la construcción de conocimiento por parte de los estudiantes, y que los demás investigadores construyan conocimiento sobre ambos y sobre sus interacciones (Molina et al., 2011).

Según Molina et al., (2011), en los experimentos de enseñanza el objetivo último es elaborar un modelo del aprendizaje y/o desarrollo de los estudiantes, con relación a un contenido específico, entendiendo este aprendizaje como resultado de la manera de operar y las situaciones puestas en juego por el investigador-docente. Recordemos que nuestra

propuesta consiste en diseñar, implementar y evaluar una secuencia didáctica para bachillerato. Por lo tanto, este enfoque nos resulta idóneo para guiar la investigación.

De acuerdo con Plomp (2013 citado por Romero, 2014), son diversas las maneras en las que distintos autores describen la ejecución de los experimentos de enseñanza, pero existe un consenso generalizado sobre las etapas que esta aproximación conlleva:

Fase 1: Investigación preliminar

Esta primera fase implica el análisis de necesidades y la descripción del problema, así como la revisión de la literatura especializada, con el objeto de identificar trabajos previos con un propósito o énfasis similar, así como establecer la fundamentación y el marco teórico de la investigación.

Fase 2: Desarrollo y pilotaje

Supone la elaboración, revisión y mejora progresiva de prototipos con base en estudios sistemáticos tras sucesivos ciclos de investigación. El elemento clave que orienta la mejora es la evaluación formativa resultante de cada iteración.

Fase 3: Evaluación final

Su principal finalidad es valorar si la intervención y el producto final satisfacen los objetivos y requerimientos planteados en principio. Puesto que esta etapa suele integrar recomendaciones para la mejora, algunos autores la denominan evaluación semisumativa. Esta fase incluye el análisis y la reflexión sistemática destinada a la obtención de conclusiones que orienten futuros diseños.

A continuación se describe cada una de las fases de investigación con relación a la elaboración de la secuencia didáctica para la enseñanza del tema clonación de organismos a través del cine de ciencia ficción y del pensamiento crítico.

2. Fase 1: Investigación preliminar

La investigación preliminar implicó identificar necesidades, definir el problema y analizar el contexto de trabajo. En este sentido, se identificó que la genética es uno de los contenidos de biología que causa mayores dificultades tanto en la enseñanza como en el aprendizaje (Bugallo, 1995). Dichas dificultades se deben a diversos factores, entre ellos, a los conocimientos que los estudiantes poseen y que son fruto, en gran medida, de los medios de comunicación, sobre todo de las películas de ciencia ficción (Abril et al., 2015).

La búsqueda de espectacularidad en el género de ciencia ficción lleva, con frecuencia, a presentar una imagen de la ciencia que nada o poco se corresponde con la realidad. Las especulaciones científicas suelen ser simplistas y pueden o no estar basadas en teorías reales. El espectador, al ver reiteradamente estos errores, acaba creyéndolos o nunca los llega a reconocer (Grilli, 2016). De ahí la importancia de fomentar el pensamiento crítico.

De este modo, se definió que un problema de la enseñanza-aprendizaje de esta disciplina reside en que cuando se enseña genética se ignora la posibilidad de aprovechar educativamente los “errores” de las películas de ciencia ficción para favorecer el aprendizaje y hacer de los estudiantes personas críticas.

Debido a que son muchos los contenidos que se relacionan directamente con la genética. La propuesta se centra sólo en el tema de clonación de organismos. También se eligió este contenido porque es muy representado en la ciencia ficción y generalmente se representa muy alejado de la realidad.

A continuación, se decidió realizar el estudio en la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (Plantel Sur), uno de los sistemas de educación a nivel medio superior que ofrece la Universidad Nacional Autónoma de México.

Posteriormente, se hizo la revisión de la bibliografía especializada, se definió el marco teórico e identificaron precedentes de interés.

3. Fase 2: Desarrollo y pilotaje

De acuerdo con Romero (2014), la etapa de desarrollo y pilotaje implica ciclos iterativos de aplicación, evaluación y mejora progresiva de los productos. El número de iteraciones depende, entre otras cosas, de la evaluación llevada a cabo en cada ciclo. Si dicha evaluación revela que se han alcanzado los objetivos perseguidos, la investigación podría darse por finalizada. Si no es así, se muestra la necesidad de abordar un nuevo proceso de refinado que permita aproximarse a los productos buscados (Fig. 3.1). En este trabajo se realizaron tres ciclos sucesivos de refinado.



Fig. 3.1 Papel de los ciclos de refinado en la mejora progresiva de prototipos hasta alcanzar los objetivos perseguidos en una investigación enfocada al diseño. Tomado de Romero (2014).

En cada ciclo de refinado se diseñó una secuencia didáctica (se propusieron las actividades y la forma de evaluación), se aplicó en estudiantes de biología del CCH y se evaluó bajo un enfoque cualitativo y cuantitativo.

Los objetivos de aprendizaje que se persiguen son los siguientes:

- *Conceptual:* El estudiante distingue entre clonación en la ciencia y clonación en la ficción cinematográfica.
- *Procedimental:* El estudiante utiliza habilidades y disposiciones del pensamiento crítico

- *Actitudinal:* El estudiante valora la importancia de ser crítico ante la información que se le presenta.

3.1 Secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación... 1*

El primer diseño de la secuencia didáctica se realizó en los meses de febrero y marzo de 2016. Se construyó a partir de la guía para la elaboración de una secuencia didáctica propuesta por Díaz (2013) y aspectos citados en el marco teórico: contenido disciplinar, cine de ciencia ficción y pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias.

Se consideró un tiempo de aplicación de seis horas divididas en sesiones de dos horas cada una. Por lo tanto, la secuencia didáctica se diseñó para 3 sesiones.

3.1.1 Sesión 1

Para la actividad de apertura se propone entregar de manera individual el texto siguiente:

Tu amada mascota ha estado contigo durante muchos años. Sin embargo, últimamente muestra signos de vejez y te das cuenta de que sus días juntos están contados. No puedes soportar la idea de vivir sin ella, entonces, contactas una compañía de biotecnología que anuncia sus servicios de clonación. Por tan sólo 1, 520,000 pesos esta empresa la va a clonar. Pronto tendrás una copia y nunca tendrás que vivir sin tu amiga. ¿Consideras que la copia será exactamente igual a la original? ¿Por qué?

Pedir a los estudiantes que contesten las preguntas y con las respuestas discutir en grupo sobre las similitudes y diferencias de la mascota para definir qué son los clones. El propósito de la actividad es que el docente reconozca las ideas previas del estudiante al promover que haga uso del conocimiento que posee, ya sea por su formación escolar previa o por su experiencia cotidiana. Además, que el estudiante tenga un acercamiento al contenido a estudiar que le facilite vincular lo que sabe con el conocimiento con el que entrará en contacto.

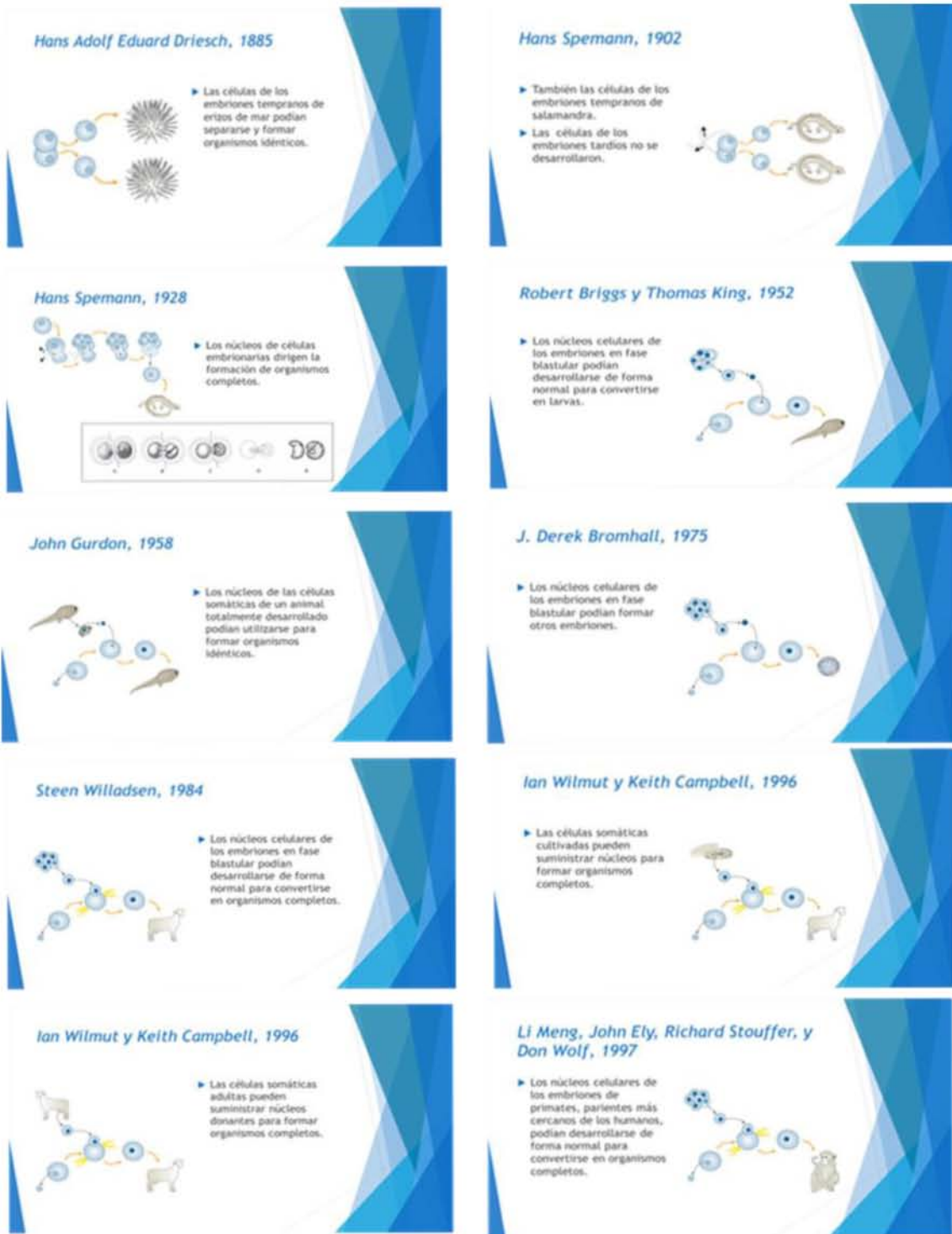
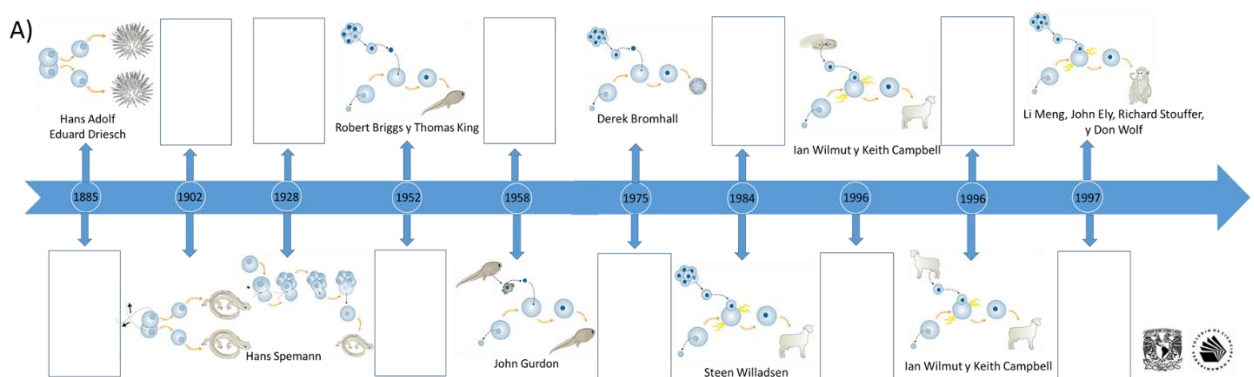


Fig. 3.2 Presentación sobre la historia de la clonación. Elaboración propia.

Para la actividad de desarrollo se sugiere realizar una exposición-discusión sobre la historia de la clonación con la presentación que se muestra en la Fig. 3.2. La intención de la actividad es que el estudiante interactúe con nueva información que le permita visualizar que el desarrollo del conocimiento científico, específicamente la clonación de los organismos, es una labor histórica colectiva. Es importante señalar que el modelo de exposición-discusión propuesto por Eggen et al., (2015) promueve la integración de nuevos cuerpos de conocimiento y fomenta el pensamiento crítico. Por lo tanto, se ajusta perfectamente al propósito de la actividad y al objetivo de la secuencia.

Después de la exposición-discusión, pedir a los estudiantes que formen parejas y completen la línea del tiempo que se muestra en la Fig. 3.3 A con los eventos de la Fig. 3.3 B. La intención de la actividad es que el estudiante organice la nueva información con el apoyo de una representación visual (línea del tiempo) que le permita incorporar nuevos significados, destacar los elementos importantes y delimitar la estructura interna del contenido.

Para finalizar la sesión, guiar la retroalimentación grupal para que el estudiante obtenga información sobre su proceso de comprensión y realice los cambios necesarios.



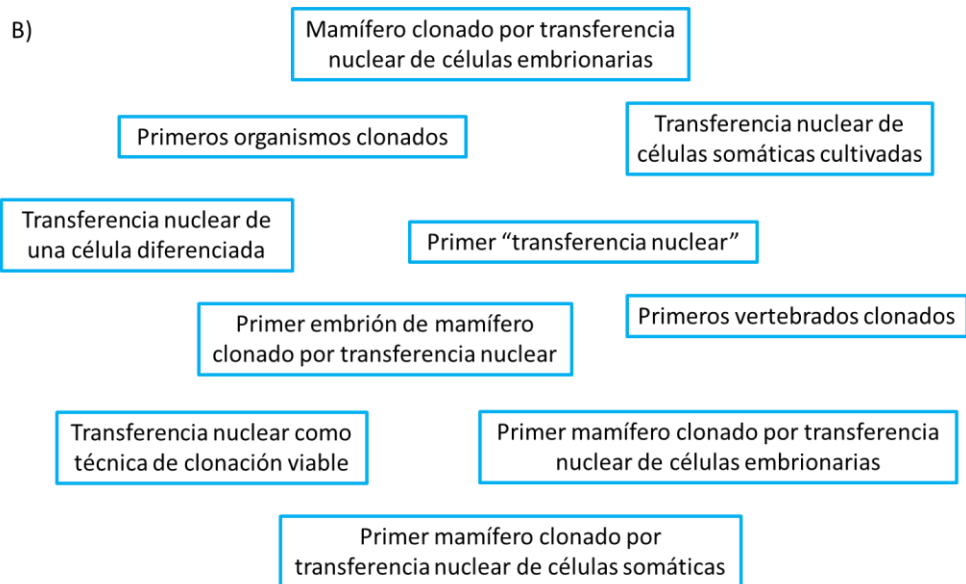


Fig. 3.3 A) Línea del tiempo que retrata la historia de la clonación.
 3.3 B) Eventos biotecnológicos sobre clonación. Elaboración propia.

3.1.2 Sesión 2

Para la segunda sesión se propone la proyección de las películas de ciencia ficción: Parque Jurásico (Jurassic Park, 1993) y El 6º Día (The 6th Day, 2000). Los criterios para seleccionarlas fueron los siguientes:

- Representan conceptos, ideas, procedimientos y aplicaciones de la clonación.
- Incorporan la clonación de especies diferentes a la humana.

Proyectar Parque Jurásico por 30 minutos y El 6º Día por 40 minutos para que el estudiante comprenda el contexto en que se practica la clonación, también es importante hacer énfasis en las escenas que tratan directamente el tema. Antes de la proyección, solicitar a los estudiantes que identifiquen: la representación de la clonación, la representación de la técnica y las características de los clones en cada película.

Al término de cada película usar dichos puntos como referentes para comparar y contrastar la información presentada en el cine con la información presentada en la sesión anterior, es decir, la información científica. Para finalizar la sesión, señalar la importancia de ser crítico.

El propósito de la actividad es utilizar el cine de ciencia ficción para reforzar los conocimientos científicos que el estudiante ha adquirido y fomentar el pensamiento crítico a través del diálogo participativo.

3.1.3 Sesión 3

Para la última sesión se sugiere como actividad de cierre formar seis equipos y asignarles uno de los escenarios siguientes:

1. *El espermatozoide de un chivo se combina con el óvulo de una chiva en una caja de Petri. El embrión resultante se implanta en el útero de una madre sustituta (chiva) para su desarrollo.*
2. *Un embrión de oveja, compuesto de 16 células, se retira del útero de la madre y se separa en células individuales. Se permite a cada célula multiplicarse por separado, se obtienen 16 embriones que luego se implantan en diferentes madres sustitutas (ovejas) para desarrollarse.*
3. *Se obtienen tres células de una ratona, sus núcleos se retiran y se desechan. Se toman tres núcleos de células de otra ratona y se insertan en las células sin núcleo. Las células resultantes se multiplican hasta formar embriones y se implantan en diferentes madres sustitutas (ratonas) para su desarrollo.*
4. *Una vaca con muchas características deseables se estimula con hormonas para producir un mayor número de óvulos. Cada uno de estos óvulos es fertilizado e implantado en una madre sustituta (vaca) que no tiene las características deseadas.*
5. *El espermatozoide de un toro campeón es usado para preñar vacas en diferentes partes del mundo.*
6. *Los investigadores están interesados en revivir al mamut lanudo. Ellos toman una muestra de tejido de un mamut lanudo que ha estado congelado en un bloque de hielo durante miles de años, a partir de células de la muestra, obtienen varios núcleos que*

insertan en células sin núcleo de vaca. Los embriones resultantes se implantan en el útero de una madre sustituta (vaca) para su desarrollo.

Pedir a cada equipo que determine si se trata o no de clonación y que elabore un dibujo para apoyar su determinación y explicarla ante el grupo. Antes de conocer la resolución del equipo preguntar a los demás estudiantes su opinión.

La intención de resolver un escenario es que los estudiantes apliquen lo aprendido en la resolución de situaciones específicas, mientras que la elaboración del dibujo tiene como finalidad que generando imágenes, iconos y símbolos propios, profundicen en la comprensión de los aspectos representados y su utilidad. Así como promover el razonamiento científico, pues al tener que seleccionar aspectos específicos para esquematizar, el estudiante razona polimodalmente, ajustando su dibujo a ideas emergentes. De esta manera desarrollan un razonamiento creativo que les ayuda a comunicar su pensamiento.

Una vez definidas las actividades y su evaluación, la cual se detalla en el apartado siguiente, se aplicó el primer diseño de la secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación...* que se resume a continuación:



SECUENCIA DIDÁCTICA 1

Clonación, clonación, clonación...

Elaboró: Ma. Elena Martínez Molina



DATOS GENERALES

ASIGNATURA	Biología I
UNIDAD TEMÁTICA	Unidad III: ¿Cómo se transmite y modifica la información genética en los sistemas vivos?
TEMA GENERAL	Clonación de organismos
TIEMPO DIDÁCTICO	3 sesiones de 2 horas

SECUENCIA

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE	ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE	EVALUACIÓN
<p>Conceptual</p> <p>El estudiante distingue entre clonación en la ciencia y clonación en la ficción cinematográfica.</p> <p>Procedimental</p> <p>El estudiante utiliza habilidades y disposiciones del pensamiento crítico.</p> <p>Actitudinal</p> <p>El estudiante valora la importancia de ser crítico ante la información que se le presenta.</p>	<p>Actividad de apertura</p> <p><i>Sesión 1</i></p> <p>Presentación</p> <p>El docente comunica los objetivos, proporciona un texto y pide a los estudiantes que, de manera individual, den respuesta a las preguntas que se plantean al final.</p> <p>Con las respuestas el docente guía la discusión hacia la concepción de la clonación como proceso biológico.</p> <p>Actividades de desarrollo</p> <p>El docente expone la historia de la clonación con una presentación mientras propicia la discusión. Al terminar, proporciona una línea del tiempo y pide a los estudiantes que, por parejas, la completen con los eventos señalados en el pizarrón.</p> <p>Para finalizar la sesión, el docente retroalimenta la actividad de manera grupal y hace un breve resumen.</p> <p><i>Sesión 2</i></p> <p>El docente comunica los objetivos y recapitula la sesión anterior. Proyecta las películas Parque Jurásico y El 6º Día. Antes de la proyección, solicita a los estudiantes que identifiquen la representación de la clonación, la representación de la técnica y las características de los clones para cada película.</p> <p>Al finalizar cada cinta, el docente propicia la discusión sobre la credibilidad de la información que se presenta en las películas.</p> <p>A manera de cierre, el docente hace un breve resumen de la sesión</p>	<p>Diagnóstica</p> <p>Preguntas</p> <p>Formativa</p> <p>Línea del tiempo e identificación de representaciones en el cine</p> <p>Sumativa</p> <p>Determinación del escenario y dibujo</p>

	<p>Actividad de cierre</p> <p><i>Sesión 3</i></p> <p>El docente comunica los objetivos y recapitula la sesión anterior, forma seis equipos y a cada uno les asigna un escenario. Después, solicita a los estudiantes que determinen si el escenario que se les plantea es o no clonación, también que elaboren un dibujo para apoyar su determinación y presentarla ante el grupo. Antes de presentar, se discute de manera grupal cada escenario.</p> <p>Para finalizar, el docente hace un breve resumen de la sesiones.</p>	
--	---	--

REFERENCIAS DE APOYO

<p>BIBLIOGRAFÍA PARA LOS ALUMNOS.</p>	<p>http://learn.genetics.utah.edu/content/cloning/</p>
<p>BIBLIOGRAFÍA PARA EL PROFESOR</p>	<p>http://teach.genetics.utah.edu/content/cloning/</p> <p>Eggen PD, Kauchak DP (2015). Estrategias docentes. Enseñanza de contenidos y desarrollo de habilidades del pensamiento. México: FCE.</p>

3.1.4 Evaluación final

Se propone evaluar el primer diseño de la secuencia didáctica considerando la evaluación diagnóstica, la evaluación formativa y la evaluación sumativa.

La evaluación diagnóstica es la pregunta sobre el resultado de clonar una mascota, es decir, si serían iguales o no. Valorar que los estudiantes distingan que desde el punto de vista genético los clones son iguales pero el ambiente determina que su conducta sea distinta.

Como evaluación formativa se tiene la línea del tiempo que los estudiantes completaran en parejas y las representaciones que identificaran individualmente en las películas. Con la línea del tiempo se evalúa que cada evento histórico de la clonación corresponda con el o los científicos que participaron.

Respecto a las representaciones de las películas, se valora que los estudiantes identifiquen que la clonación se enmarca en un contexto negativo (en ambas películas se muestra que la clonación provoca desequilibrios en la naturaleza y su manipulación trae graves peligros). Además, que distingan la simplicidad con que se representa el proceso de clonación (técnica) y la duplicación de personajes como imagen prototípica de la clonación.

Para la evaluación sumativa se toma en cuenta la resolución del escenario que los estudiantes trabajaran en parejas y la elaboración del dibujo. Se juzga que resuelvan adecuadamente el planteamiento y que el dibujo les ayude a explicitar su pensamiento, compartirlo y discutirlo.

Los resultados de la evaluación general se muestran en el siguiente capítulo.

3.2 Secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación...* 2

El segundo diseño se realizó en los meses de agosto y septiembre de 2016. También se construyó a partir de la guía para la elaboración de una secuencia didáctica propuesta por Díaz (2013) y aspectos presentados en el marco teórico.

Al igual que el primer diseño, la secuencia didáctica consta de tres sesiones con duración de dos horas cada una.

3.2.1 Sesión 1

Para la primera sesión se sugiere como actividad de apertura la lectura del texto siguiente:

Tu mascota ha estado contigo durante muchos años. Sin embargo, últimamente muestra signos de vejez y te das cuenta que sus días están contados. Entonces, contactas una compañía de biotecnología dedicada a la clonación y te aseguran que en poco tiempo, tendrás un clon de tu mascota. ¿Consideras que tu nueva mascota será exactamente igual a la original? ¿Por qué?

Pedir a los estudiantes que contesten las preguntas y con las respuestas discutir en grupo sobre las similitudes y diferencias de la mascota para definir qué son los clones. Al igual que la secuencia anterior, el propósito de la actividad es que el docente reconozca las ideas previas del estudiante y que éste tenga elementos para vincular lo que sabe con el conocimiento que se le presentará.

Como actividad de desarrollo se propone proporcionar a cada estudiante un formato para tomar notas basado en el sistema Cornell. Este sistema consiste en dividir una hoja en tres secciones (Fig. 3.4). En la columna más grande del lado derecho se registran los apuntes de clase, la columna de la izquierda se usa para anotar preguntas o palabras clave y el área final de la hoja para resumir los apuntes (Carter et al., 2006).

Antes de que los estudiantes tomen notas, explicar qué es el sistema Cornell y modelar cómo se utiliza. Pedirles que lo empleen para tomar apuntes de la exposición-discusión que hará el docente. Realizar tal actividad considerando la organización propuesta en la Fig. 3.5.

El propósito de fomentar que los estudiantes tomen apuntes es favorecer su aprendizaje mediante funciones de organización y registro. La organización de la información apoya el aprendizaje al ayudar a seleccionar la información más importante, mantener la atención en la clase y a comprenderla mejor, ya que propicia el razonamiento activo y continuo; mientras que el registro permite tener un apunte de lo dicho en clase, lo cual hace posible recordar lo que se dijo, aún días después.

NOMBRE _____ **FECHA** _____

El Método Cornell para la toma de notas o apuntes.

Título o Pregunta Esencial:

Preguntas o Palabras Claves	Notas / Apuntes

Resumen (usando mis propias palabras):

Todos los Derechos Reservados © www.OrganizadoresGraficos.com

Fig. 3.4 Formato Cornell para tomar apuntes. Tomado de <http://www.organizadoresgraficos.com>.

Para finalizar, se sugiere la simulación de la técnica de transferencia nuclear de células somáticas. Para ello, se recomienda utilizar el material de la Fig. 3.6. El propósito de la actividad es que el estudiante logre visualizar dicha técnica de manera fácil y rápida, haciendo una conexión entre lo abstracto y la realidad. Además de reforzar lo aprendido en clase y generar un ambiente de aprendizaje interactivo que le permita explorar la dinámica del proceso.

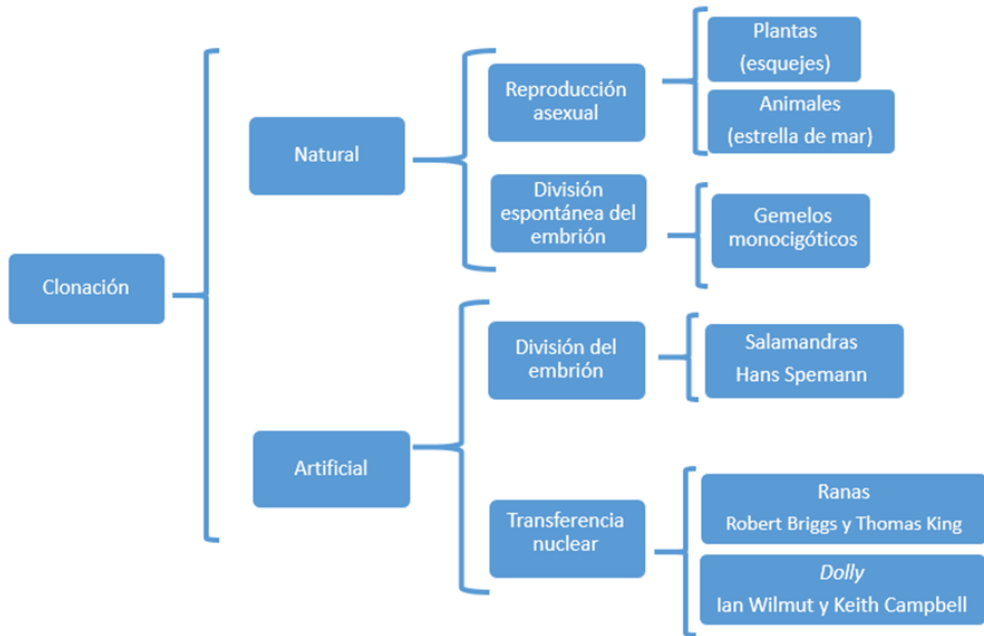


Fig. 3.5 Organización propuesta para la exposición-discusión. Elaboración propia.

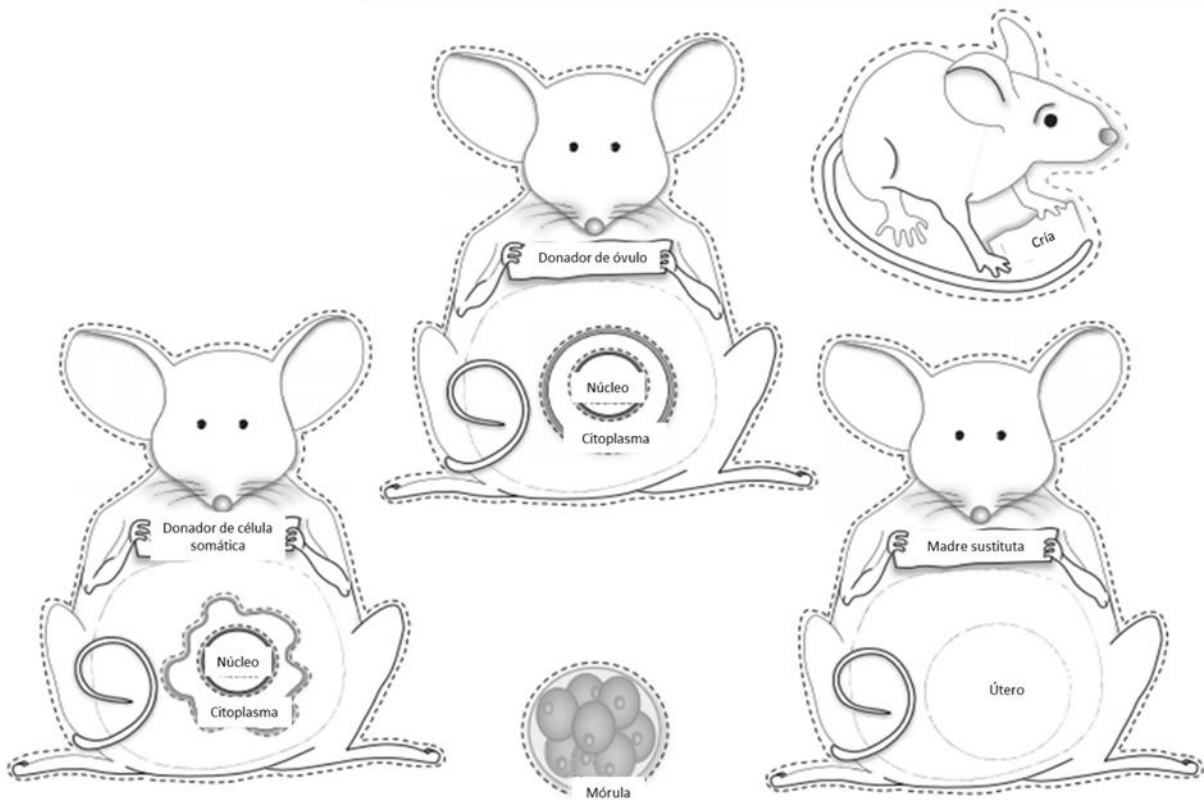


Fig. 3.6 Material para la simulación de la técnica de transferencia nuclear de células somáticas. Tomado y modificado de <http://teach.genetics.utah.edu/content/cloning>.

3.2.2 Sesión 2

Al igual que en el primer diseño, para la segunda sesión se propone como actividad de desarrollo la proyección de las películas Parque Jurásico (Jurassic Park, 1993) y El 6º Día (The 6th Day, 2000). Antes de la proyección, proporcionar a cada estudiante las preguntas que se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Cuestionarios de las películas. Elaboración propia.

Parque Jurásico
<ol style="list-style-type: none">1. <i>¿Qué personajes se encargan de hacer la clonación?</i>2. <i>¿Cómo explica Mister ADN el proceso de clonación?</i>3. <i>¿Qué postura asumen los científicos protagonistas (paleontólogo, paleobotánica y matemático) ante la clonación de dinosaurios?</i>4. <i>¿Qué visión muestra la película sobre la clonación?</i>
El 6º Día
<ol style="list-style-type: none">1. <i>¿Qué personajes se encargan de hacer la clonación?</i>2. <i>¿Qué postura asumen estos personajes ante la clonación humana?</i>3. <i>¿Cómo explica el comercial de televisión el proceso de clonación animal?</i>4. <i>¿Cómo se explica el proceso de clonación humana?</i>5. <i>¿Qué características conductuales tienen los clones?</i>6. <i>¿Qué visión muestra la película sobre la clonación?</i>

Proyectar 30 min de Parque Jurásico y 40 minutos de El 6º Día, resumir el argumento de cada cinta y hacer hincapié en las escenas que tratan el tema. Al finalizar cada proyección, guiar la discusión tomando como punto de partida las preguntas para comparar y contrastar la información presentada en el cine con la información científica presentada en la sesión anterior. Para finalizar la sesión, señalar la importancia de ser crítico.

Al igual que en el diseño anterior, el objetivo de la actividad es utilizar el cine de ciencia ficción para reforzar los conocimientos científicos que el estudiante ha adquirido y fomentar el pensamiento crítico a través del diálogo participativo.

3.2.3 Sesión 3

Para finalizar la secuencia, se recomienda la actividad de cierre presentada en el primer diseño, es decir, formar equipos y asignarles un escenario para que establezcan si se trata o no de clonación, además de elaborar un dibujo para apoyar su resolución y explicarla ante el grupo. Del mismo modo, preguntar a los demás estudiantes su opinión antes de escuchar la resolución del equipo.

El propósito de la actividad es que los estudiantes apliquen lo aprendido en la resolución de situaciones determinadas y la elaboración del dibujo que desarrollen un razonamiento creativo que les ayuda a comunicar su pensamiento.

Una vez que se modificaron y generaron nuevas actividades así como su evaluación (se detalla en el apartado siguiente), se aplicó el segundo diseño de la secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación...* que se resume a continuación:



SECUENCIA DIDÁCTICA 2

Clonación, clonación, clonación...



Elaboró: Ma. Elena Martínez Molina

DATOS GENERALES

ASIGNATURA	Biología I
UNIDAD TEMÁTICA	Unidad III: ¿Cómo se transmite y modifica la información genética en los sistemas vivos?
TEMA GENERAL	Clonación de organismos
TIEMPO DIDÁCTICO	3 sesiones de 2 horas

SECUENCIA

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE	ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE	EVALUACIÓN
<p>Conceptual</p> <p>El estudiante distingue entre clonación en la ciencia y clonación en la ficción cinematográfica.</p> <p>Procedimental</p> <p>El estudiante utiliza habilidades y disposiciones del pensamiento crítico.</p> <p>Actitudinal</p> <p>El estudiante valora la importancia de ser crítico ante la información que se le presenta.</p>	<p>Actividad de apertura</p> <p><i>Sesión 1</i></p> <p>El docente comunica los objetivos, lee un texto al grupo y pide a los estudiantes que, de manera individual, den respuesta a unas preguntas.</p> <p>Con las respuestas el docente guía la discusión hacia la concepción de la clonación como proceso biológico.</p> <p>Actividades de desarrollo</p> <p>El docente explica qué es el método Cornell mientras modela su uso. Después, proporciona un formato del método y pide a los estudiantes que, de manera individual, lo utilicen para tomar apuntes de la exposición-discusión que realizará.</p> <p>El docente realiza la exposición con base en la organización antes propuesta.</p> <p>Posteriormente, se realiza en grupo la simulación de la técnica de transferencia nuclear de células somáticas.</p> <p>Finalmente, el docente hace un breve resumen de la sesión.</p> <p><i>Sesión 2</i></p> <p>El docente comunica los objetivos y recapitula la sesión anterior. Proyecta las películas Parque Jurásico y El 6º Día. Antes de la proyección, proporciona a los estudiantes un cuestionario para cada película.</p> <p>Al finalizar cada cinta, el docente propicia la discusión sobre la credibilidad de la información que se presenta en las películas tomando como base el cuestionario.</p> <p>A manera de cierre, el docente hace un breve resumen de la sesión.</p>	<p>Diagnóstica</p> <p>Preguntas</p> <p>Formativa</p> <p>Formato Cornell y cuestionario de las películas</p> <p>Sumativa</p> <p>Determinación del escenario y dibujo</p>

	<p>Actividad de cierre</p> <p><i>Sesión 3</i></p> <p>El docente comunica los objetivos y recapitula la sesión anterior, forma seis equipos y a cada uno les asigna un escenario. Después, solicita a los estudiantes que determinen si el escenario que se les plantea es o no clonación, también que elaboren un dibujo para apoyar su determinación y presentarla ante el grupo. Antes de presentar, se discute de manera grupal cada escenario.</p> <p>Para finalizar, el docente hace un breve resumen de la sesiones.</p>	
--	---	--

REFERENCIAS DE APOYO

<p>BIBLIOGRAFÍA PARA LOS ALUMNOS.</p>	<p>http://learn.genetics.utah.edu/content/cloning/</p>
<p>BIBLIOGRAFÍA PARA EL PROFESOR</p>	<p>http://teach.genetics.utah.edu/content/cloning/</p> <p>Eggen PD, Kauchak DP (2015). Estrategias docentes. Enseñanza de contenidos y desarrollo de habilidades del pensamiento. México: FCE.</p>

3.2.4 Evaluación final

Se propone evaluar este segundo diseño considerando la evaluación diagnóstica, la evaluación formativa y la evaluación sumativa.

La evaluación diagnóstica es la misma que se propuso en la primera secuencia didáctica, es decir, la pregunta para valorar que los estudiantes distingan el componente genético y el componente ambiental de la clonación.

Para la evaluación formativa tomar en cuenta el formato para tomar notas con el sistema Cornell y los cuestionarios sobre las películas. Del formato sólo se juzga la organización de la información y de los cuestionarios que los estudiantes reconozcan cada aspecto que se pregunta.

La evaluación sumativa también es la misma que la secuencia pasada, la resolución de un escenario en parejas y la elaboración de un dibujo para apoyarla. Se evalúa que resuelva adecuadamente el escenario y que el dibujo les ayude a explicitar su pensamiento, compartirlo y discutirlo.

Los resultados generales de la evaluación se muestran en el siguiente capítulo.

3.3 Secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación... 3*

El tercer diseño se realizó en los meses de enero y febrero de 2017. Se construyó a partir de las actividades mencionadas en los diseños anteriores y aspectos referidos en el marco teórico. Además se consideró un tiempo de aplicación de cinco horas divididas en dos sesiones de dos horas cada una y una sesión de una hora. Así, la secuencia didáctica se diseñó para 3 sesiones.

3.3.1 Sesión 1

Como actividad de apertura se propone señalar a los estudiantes que existen gemelos monocigóticos y dicigóticos, entregar de manera individual la imagen de la Fig. 3.7 y pedir que indiquen qué par es monocigótico, además que justifiquen su elección. Después elaborar en el pizarrón una tabla de diferencias entre estos tipos de gemelos tomando en cuenta las respuestas y evidenciar que los gemelos monocigóticos son clones.



Fig. 3.7 Gemelos monocigóticos y gemelos dicigóticos. Tomado de Berger (2007).

Esta actividad tiene como propósito conocer y activar las ideas previas de los estudiantes al permitir que expresen todas sus ideas y puntos de vista, más allá de que sean correctas o no. También introducir las características de los clones para definir qué es la clonación.

Como actividad de desarrollo se sugiere estudiar algunos episodios significativos en el camino que los científicos recorrieron históricamente para desarrollar la clonación. Para ello, mostrar al grupo un esquema del experimento llevado a cabo por Hans Spemann en 1902 (Fig. 3.8) y señalar en un organizador gráfico la pregunta de investigación que se formuló, la descripción del experimento que realizó, así como los resultados y la conclusión que obtuvo (Fig. 3.9).

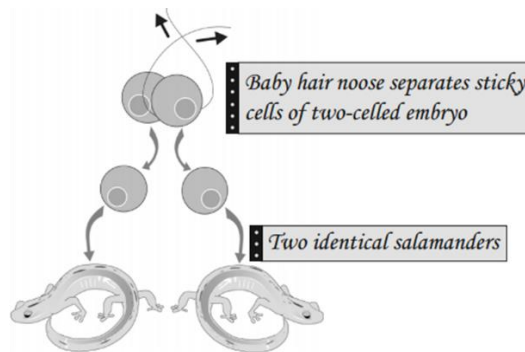


Fig. 3.8 Experimento de Hans Spemann. Tomado de <http://teach.genetics.utah.edu/content/cloning>.

Posteriormente formar seis equipos, entregarles uno de los esquemas de la Fig. 3.10 y un organizador gráfico con el autor o autores que realizaron el experimento, el año en que se llevó a cabo y la pregunta de investigación. Solicitar a los estudiantes que describan el experimento que observan en el esquema, los resultados y la conclusión; dar tiempo para discutir y registrar por escrito. Al finalizar, presentar por equipo su trabajo ante el grupo y discutir sobre el contexto e implicaciones del experimento.



Fig. 3.9 Organizador gráfico del experimento de Hans Spemann. Elaboración propia.

El propósito de la actividad es que los estudiantes puedan ir incorporando nueva información y ampliar su conocimiento a través del análisis de experimentos científicos para que reflexionen sobre la actividad científica y comprendan la ciencia como una labor colectiva que tiene historicidad.

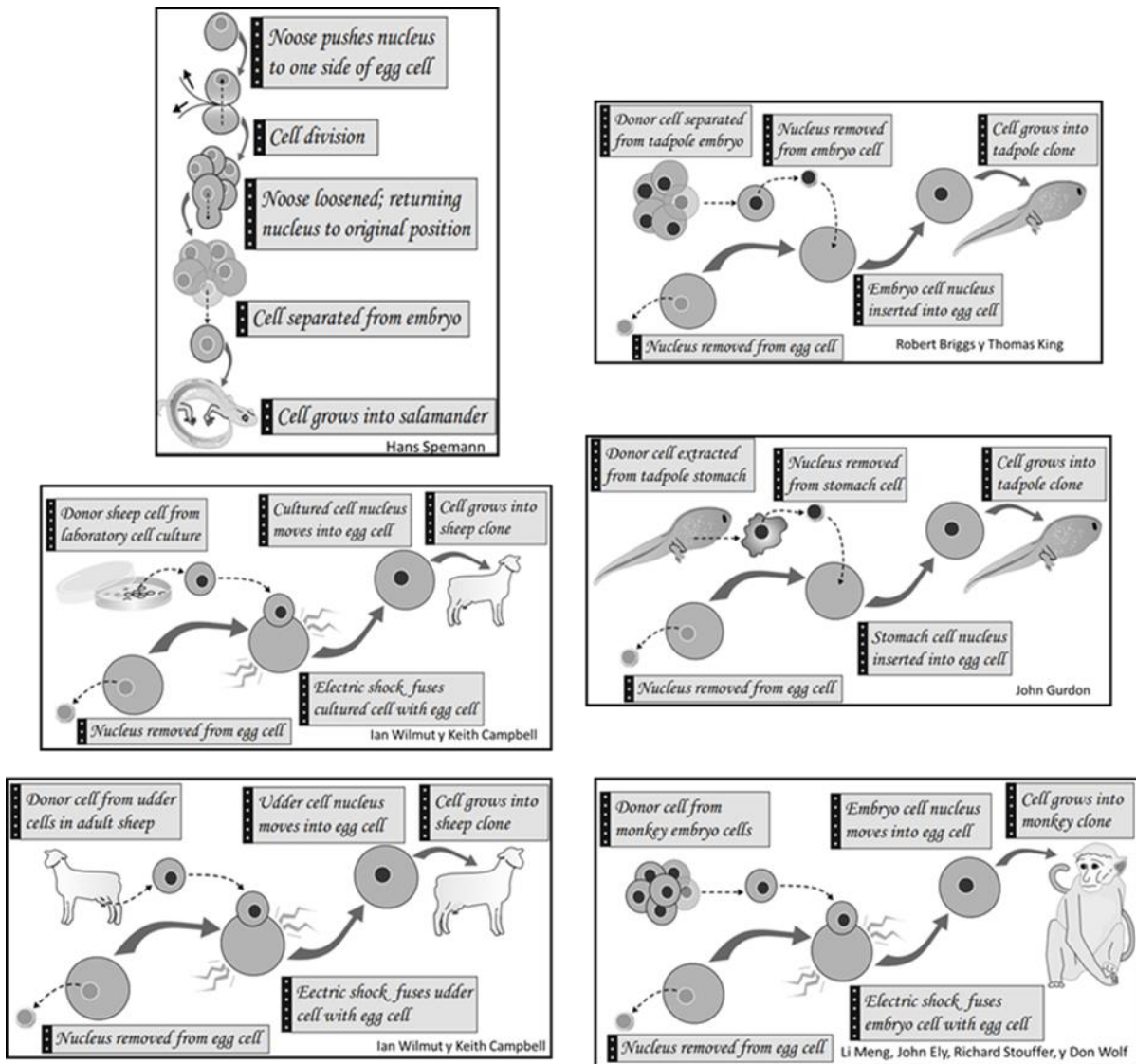


Fig. 3.10 Esquemas de los experimentos significativos en la historia de la clonación. Tomado de <http://teach.genetics.utah.edu/content/cloning>.

Para finalizar la sesión, se recomienda la misma actividad que se propuso para la segunda secuencia didáctica, es decir, la simulación de la técnica de transferencia nuclear de células somáticas; cuya finalidad es que el estudiante logre visualizarla de manera fácil al conectar lo abstracto y la realidad. Además de reforzar lo aprendido en clase y generar un ambiente de aprendizaje interactivo.

3.3.2 Sesión 2

En esta sesión se propone comenzar con una lluvia de ideas sobre la concepción de estereotipo para después señalar que se trabajaran dos estereotipos de la clonación: personalidad y edad. Formar parejas, asignar a la mitad la Fig. 3.11 A y pedir que intercambien ideas sobre los diálogos de los personajes en torno a la personalidad; a la otra mitad asignar la Fig. 3.11 B y pedir lo mismo pero en torno a la edad. Dar tiempo para discutir y registrar las ideas por escrito.



Fig. 3.11 Estereotipos de la clonación A) Personalidad B) Edad. Tomado y modificado de <http://elestafador.com> y <http://learn.genetics.utah.edu/content/cloning/> respectivamente.

Después intercambiar parejas, dar tiempo para discutir y registrar las nuevas opiniones por escrito; la idea es que cada estudiante discuta sobre las dos imágenes. El propósito de la actividad es conocer los puntos de vista de los estudiantes sobre ambos tópicos.

Como siguiente actividad se sugiere proyectar la película El 6º Día (The 6th Day, 2000) y discutir las escenas relacionadas con los estereotipos señalados antes (personalidad y edad). El objetivo de la actividad es comparar y contrastar la información presentada en la película con la información científica presentada en la primera sesión, y así facilitar el aprendizaje del

contenido disciplinar mientras se fomenta el pensamiento crítico a través del diálogo participativo.

3.3.3 Sesión 3

Como actividad de cierre se propone elaborar en el pizarrón el diagrama de Venn que se muestra en la Fig. 3.12, completarlo y discutirlo de manera grupal. La finalidad es sistematizar y estructurar las nuevas ideas ajustándolas a la mirada de la ciencia, para dotarlas de sentido y significado.

Para finalizar la sesión, señalar la importancia de analizar los contenidos presentados en los medios de comunicación como el cine, ya que en la búsqueda de espectacularidad, presenta una imagen de la ciencia que corresponde poco o nada con la realidad.

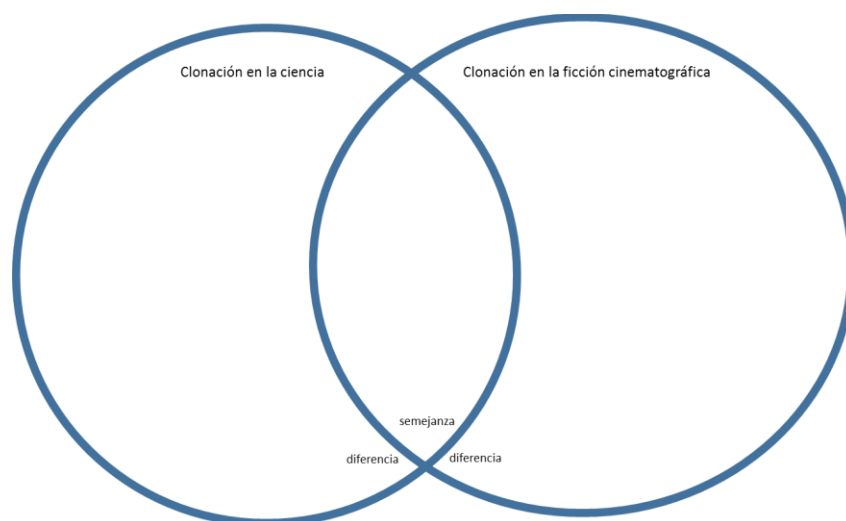


Fig. 3.12 Diagrama de Venn para comparación y contraste. Elaboración propia.

El tercer diseño de la secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación...* y su propuesta de evaluación (se muestra en la siguiente sección), se resumen a continuación:



SECUENCIA DIDÁCTICA 3

Clonación, clonación, clonación...



Elaboró: Ma. Elena Martínez Molina

DATOS GENERALES

ASIGNATURA	Biología I
UNIDAD TEMÁTICA	Unidad III: ¿Cómo se transmite y modifica la información genética en los sistemas vivos?
TEMA GENERAL	Clonación de organismos
TIEMPO DIDÁCTICO	2 sesiones de 2 horas y 1 sesión de 1 hora

SECUENCIA

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE	ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE	EVALUACIÓN
<p>Conceptual</p> <p>El estudiante distingue entre clonación en la ciencia y clonación en la ficción cinematográfica.</p> <p>Procedimental</p> <p>El estudiante utiliza habilidades y disposiciones del pensamiento crítico.</p> <p>Actitudinal</p> <p>El estudiante valora la importancia de ser crítico ante la información que se le presenta.</p>	<p>Actividad de apertura</p> <p><i>Sesión 1</i></p> <p>El docente comunica los objetivos, entrega una imagen de gemelas y pide a los estudiantes que, de manera individual, señalen cuál es el par monocigótico y justifiquen su respuesta.</p> <p>Con las respuestas el docente construye una tabla de diferencias entre gemelos (monocigóticos y dicigóticos) para concluir que, por sus características, los monocigóticos son clones.</p> <p>Actividades de desarrollo</p> <p>El docente muestra una imagen del experimento de clonación realizado por Hanss Spemann en 1902, lo describe, señala la pregunta de investigación, los resultados y la conclusión.</p> <p>Después forma equipos y asigna diferentes experimentos para que también los describan y determinen los resultados y la conclusión.</p>	<p>Diagnóstica</p> <p>Pregunta</p> <p>Formativa</p> <p>Interpretación de un experimento e identificación de estereotipos en el cine</p> <p>Sumativa</p> <p>Distinción de la representación de la clonación en la ficción cinematográfica y en la ciencia</p> <p>Participación</p>

	<p>Al finalizar, cada equipo presenta su trabajo ante el grupo y se discute sobre el contexto e implicaciones del experimento.</p> <p>Posteriormente, se realiza en grupo la simulación de la técnica de transferencia nuclear de células somáticas.</p> <p>Finalmente, el docente hace un breve resumen de la sesión.</p> <p><i>Sesión 2</i></p> <p>El docente recapitula la sesión anterior. Se discute acerca del concepto estereotipo y se señalan los estereotipos a estudiar (personalidad y clonación).</p> <p>Se proyecta la película El 6º Día, durante la proyección se discuten las escenas relacionadas con los estereotipos antes señalados.</p> <p>A manera de cierre, el docente hace un breve resumen de la sesión.</p> <p>Actividad de cierre</p> <p><i>Sesión 3</i></p> <p>El docente recapitula la sesión anterior, elabora en el pizarrón un diagrama de Venn, de manera grupal se resuelve y se discute.</p> <p>Después señala la importancia de analizar los contenidos presentados en los medios de comunicación como el cine.</p> <p>Para finalizar, el docente hace un breve resumen de la sesiones.</p>	
--	--	--

REFERENCIAS DE APOYO

<p>BIBLIOGRAFÍA PARA LOS ALUMNOS.</p>	<p>http://learn.genetics.utah.edu/content/cloning/</p>
<p>BIBLIOGRAFÍA PARA EL PROFESOR</p>	<p>http://teach.genetics.utah.edu/content/cloning/ Eggen PD, Kauchak DP (2015). Estrategias docentes. Enseñanza de contenidos y desarrollo de habilidades del pensamiento. México: FCE.</p>

3.3.4 Evaluación final

Para evaluar el tercer diseño se propone considerar la evaluación diagnóstica, la evaluación formativa, la evaluación sumativa así como la aplicación de un *pretest* y un *postest*.

Como evaluación diagnóstica valorar que los estudiantes conozcan las características de los gemelos monocigóticos, ya que son las mismas que poseen los clones.

Para la evaluación formativa juzgar la interpretación del experimento y la identificación de estereotipos en el cine. Del experimento evaluar que su descripción, los resultados y las conclusiones sean correctas; de los estereotipos que los estudiantes reconozcan que los clones tienen distinta personalidad debido a factores ambientales y las circunstancias bajo las cuales tienen la misma o diferente edad.

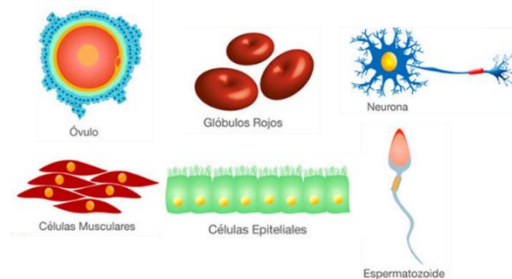
Como evaluación sumativa tomar en cuenta la participación para llenar el diagrama de Venn, con lo cual se evalúa que los estudiantes distingan la representación de la clonación en la ciencia y en la ficción cinematográfica.

Dado que ya se realizaron dos ciclos de refinado de la secuencia didáctica, el tercer diseño también se evaluó a partir de un *pretest* (se aplicó una semana antes de la intervención) y un *postest* (se aplicó al finalizar la intervención). Ambas pruebas se muestran a continuación:

PRETEST

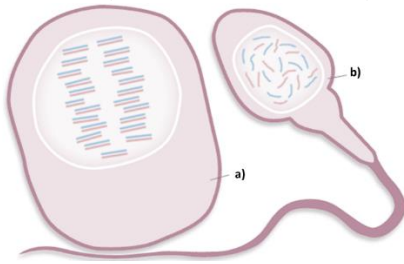
Dibuja una célula y señala la estructura celular donde se almacena, replica y expresa la información genética.

En el dibujo de abajo, palomea las células somáticas y tacha las células sexuales.



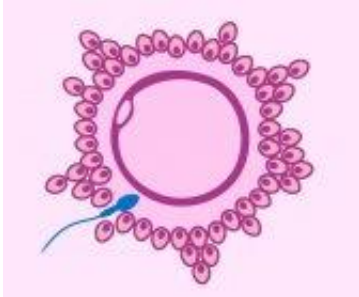
¿Cuántos cromosomas tienen las células somáticas humanas? _____
 ¿Cuántos cromosomas tienen las células sexuales humanas? _____

Escribe la ploidía de las células que se muestran en el dibujo.

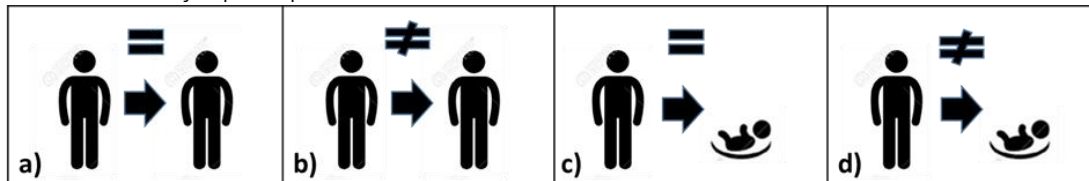


a) _____ b) _____

¿Qué proceso se representa en el dibujo de abajo?

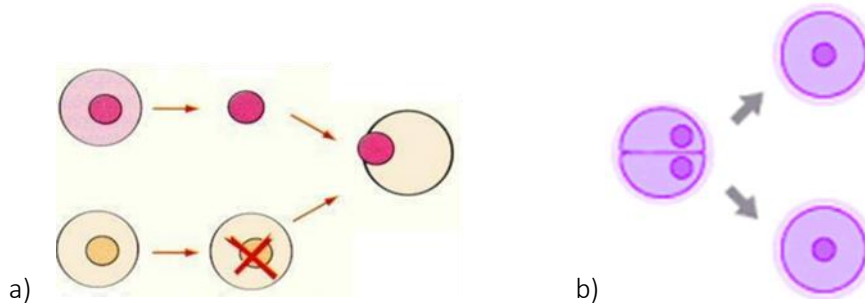


Encierra el dibujo que representa el resultado de la clonación.



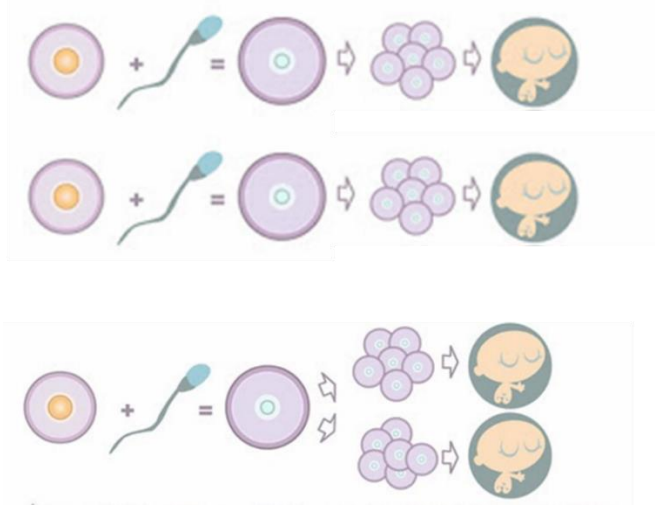
- a) Un individuo de la misma edad con la misma personalidad
- b) Un individuo de la misma edad con diferente personalidad
- c) Un individuo de diferente edad con la misma personalidad
- d) Un individuo de diferente edad con diferente personalidad

¿Qué técnicas de clonación se representan en los dibujos?



POSTEST

Señala la imagen que explica la formación de gemelos monocigóticos y explica por qué son considerados clones.



Son organismos que se clonaron antes que los mamíferos.

- a) Salamandras
- b) Ranas
- c) Ambas

¿Por qué *Dolly* fue tan importante en la historia de la clonación?

Falso o verdadero

En el núcleo celular se almacena, replica y expresa la información genética ()

Las células diploides tienen 44 autosomas y 2 cromosomas sexuales ()

Las células haploides tienen 22 autosomas y 1 cromosoma sexual ()

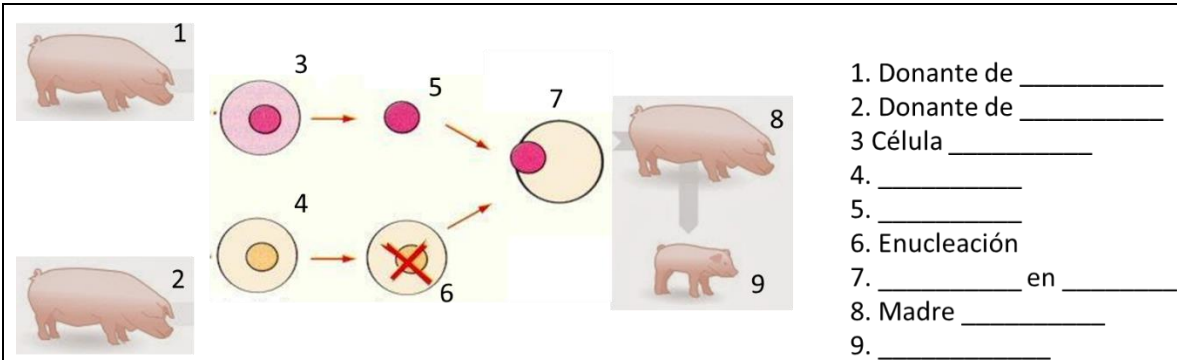
Completa la información

Con excepción de las células sexuales, todas las células del cuerpo se denominan células _____.

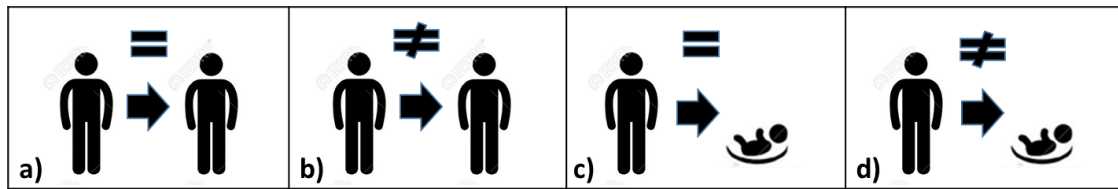
Una de las maneras más sencillas de generar animales clónicos es por _____.

Esta técnica de clonación simula la generación espontánea de gemelos.

La _____ (TNCS) consiste en transferir el _____ de una célula _____ a un _____ sin núcleo.

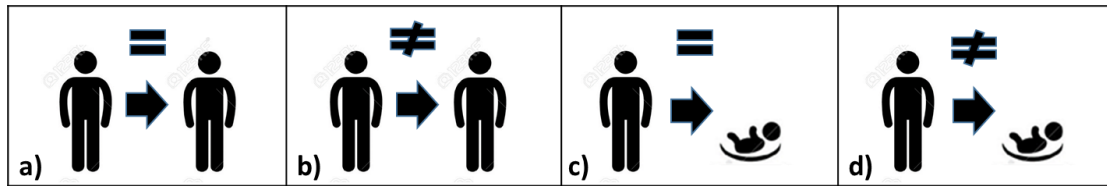


¿Qué dibujo representa el resultado de la clonación en la ciencia?



- a) Un individuo de la misma edad con la misma personalidad
- b) Un individuo de la misma edad con diferente personalidad
- c) Un individuo de diferente edad con la misma personalidad
- d) Un individuo de diferente edad con diferente personalidad

¿Qué dibujo representa el resultado de la clonación en el cine?



- a) Un individuo de la misma edad con la misma personalidad
- b) Un individuo de la misma edad con diferente personalidad
- c) Un individuo de diferente edad con la misma personalidad
- d) Un individuo de diferente edad con diferente personalidad

Los resultados de la evaluación final del tercer diseño se muestran en el siguiente capítulo.

Hasta este punto, se presentan las primeras etapas de investigación, es decir la fase de investigación preliminar y parte de la fase de desarrollo y pilotaje; puesto que sólo se muestran los diseños de cada ciclo de refinado. En el siguiente capítulo se detallan aspectos del pilotaje y la fase de evaluación resultante de cada iteración.

Análisis de Resultados

Según Ahumada (2005), un docente debe demostrar dominio de su disciplina, conocer los procesos a través de los cuales los estudiantes se apropian de nuevos conocimientos y mantener la disposición para analizar críticamente sus prácticas, de tal manera que reconozca qué aspectos han favorecido el aprendizaje de los estudiantes y cuáles no han resultado tan eficaces. En este sentido, se presenta la evaluación de los diseños propuestos.

1. Evaluación de la secuencia didáctica 1

El primer diseño de la secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación...* se aplicó en abril de 2016. La población estudiantil se conformó por estudiantes del CCH Sur inscritos en la asignatura de Biología (turno vespertino), con un rango de edades de entre 17 y 20 años. Aunque la población varió durante la intervención, el análisis de resultados se centra en 12 estudiantes que realizaron todas las actividades.

Para evaluar el primer diseño de manera final o semisumativa, es decir, valorar si se satisfacían los objetivos que se plantearon e integrar recomendaciones para la mejora; se consideró la evaluación diagnóstica, la evaluación formativa y la evaluación sumativa descritas en el capítulo anterior.

1.1 Evaluación diagnóstica

La evaluación diagnóstica consistió en preguntar a los estudiantes sobre el resultado de clonar a su mascota, es decir, si la copia (clon) sería exactamente igual a la original y por qué. Algunas de las respuestas que se obtuvieron fueron las siguientes:

- *No, porque el tiempo, alegrías y penas que hemos vivido juntos no pueden ser clonados. Además de no poder sustituir la esencia de mi compañero y amigo porque es único.*

- *Será igual en el aspecto físico, pero no de comportamiento, puesto que los genes serán una réplica exacta pero, nada asegura que el clon pueda llegar a comportarse como el perrito original.*
- *Sí, porque tendría las mismas características y el mismo ADN. Sin embargo no se comportara de la misma forma.*
- *No, físicamente, puede tener muchas similitudes, pero la esencia de la vida no se puede clonar, puede ser un producto casi idéntico, pero nunca será lo mismo.*
- *No porque es como cada persona tienen ciertos rasgos como los gemelos no son iguales algunos son más grandes que el otro entonces pues su ADN es diferente.*

El criterio para evaluar la actividad fue que los estudiantes distinguieran que, desde el punto de vista genético, los clones son iguales pero el ambiente determina que su conducta sea distinta. Así, el 60% de los estudiantes refieren la existencia de un componente genético y un componente ambiental, mientras que el 40% sólo menciona un componente ambiental; dichos resultados se muestran en la Fig. 4.1.

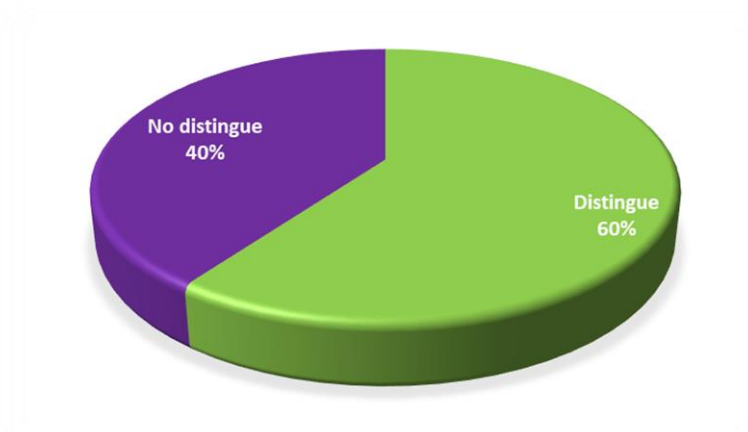


Fig. 4.1 Porcentaje de estudiantes que distinguen y no distinguen que los clones son genéticamente iguales y que el ambiente determina su comportamiento.

Se considera que la evaluación diagnóstica permitió conocer las ideas previas de los estudiantes sobre el tema. Al mismo tiempo, revela una notable dificultad para explicarlo desde un punto de vista genético, ya que el 40% de los estudiantes sólo mencionaran cuestiones ambientales (sentimientos, emociones, vivencias, etcétera) para diferenciar un

clon del otro, lo cual no proporciona información sobre sus conocimientos respecto a la cuestión biológica. Por lo tanto, se propone modificar la redacción del texto para identificar si persisten las mismas explicaciones.

1.2 Evaluación formativa

Como evaluación formativa se consideró una línea del tiempo que los estudiantes completaron en parejas. Se evaluó que cada evento correspondiera con el o los científicos que participaron. El orden cronológico de los eventos se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Eventos en la historia de la clonación. Tomados de <http://teach.genetics.utah.edu/content/cloning>.

Año	Científico(s)	Evento
1885	Hans Adolf Eduard Driesch	1. Primeros organismos clonados
1902	Hans Spemann	2. Primeros vertebrados clonados
1928	Hans Spemann	3. Primer “transferencia nuclear”
1952	Robert Briggs y Thomas King	4. Transferencia nuclear como técnica de clonación viable
1958	John Gurdon	5. Transferencia nuclear de una célula diferenciada
1975	Derek Bromhall	6. Primer embrión de mamífero clonado por transferencia nuclear
1984	Steen Willadsen	7. Primer mamífero clonado por transferencia nuclear de células embrionarias.
1996	Ian Wilmut y Keith Campbell	8. Transferencia nuclear de células somáticas cultivadas

1996	Ian Wilmut y Keith Campbell	9. Primer mamífero clonado por transferencia nuclear de células somáticas
1997	Li Meng, John Ely, Richard Stouffer y Don Wolf	10. Mamífero clonado por transferencia nuclear de células embrionarias

En esta actividad se formaron 6 parejas, en la Tabla 4.2 se señalan los eventos en que cada pareja acertó y el total de aciertos.

Tabla 4.2 Aciertos por pareja en la línea del tiempo.

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Pareja 1	😊	😊			😊	😊		😊			5
Pareja 2	😊			😊	😊	😊	😊		😊		6
Pareja 3			😊		😊	😊	😊	😊	😊		6
Pareja 4	😊			😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	8
Pareja 5	😊	😊	😊	😊	😊		😊	😊	😊		8
Pareja 6	😊	😊	😊	😊	😊						5

Así, las parejas 1 y 6 obtuvieron 50% de aciertos, las parejas 2 y 3 obtuvieron 60% y las parejas 4 y 5 obtuvieron 80% (Fig. 4.2).

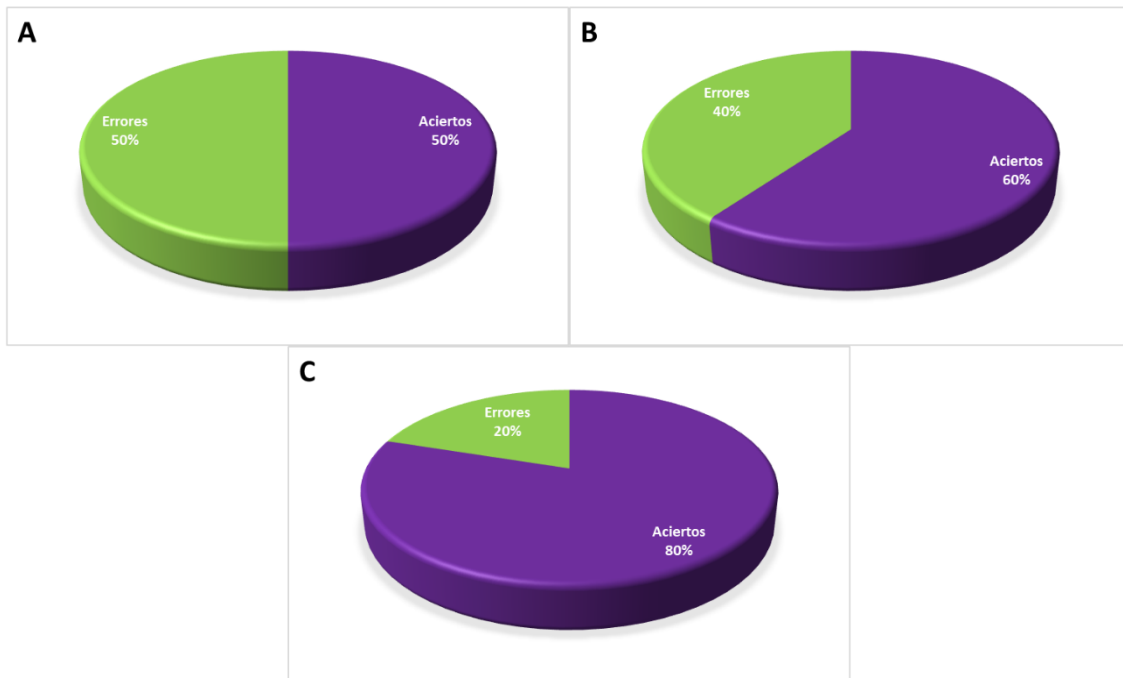


Fig. 4.2 Porcentaje de aciertos y errores que obtuvieron las parejas 1 y 6 (A), las parejas 2 y 3 (B) y las parejas 4 y 5 (C) al completar la línea del tiempo.

Los resultados indican que esta actividad causó dificultades a los estudiantes. En este sentido, algunos estudiantes refieren lo siguiente:

- *No me gusto que el trabajo estuviera un poco difícil y las respuestas fueran un poco diferentes a lo que anotamos de las diapositivas.*
- *No me gusto que el ejercicio estaba difícil.*
- *No me gustó que en lo de la línea las respuestas eran casi iguales y me confundió además eran diferentes lo que habíamos escrito a lo de las respuestas.*

La dificultad de completar la línea del tiempo hace evidente el desconocimiento de algunas nociones fundamentales ligadas al tema, por ejemplo, qué es una célula somática, la diferencia entre célula somática y célula sexual, qué es una célula diferenciada, etcétera.

Sin embargo, se considera que esta actividad permitió que los estudiantes visualizaran el proceso histórico que llevó a la construcción de un saber cómo la clonación, al poner al descubierto la labor de un gran número de científicos en un gran lapso de tiempo, sin cuya participación no se hubiera alcanzado este conocimiento. Lo anterior se sustenta en los comentarios siguientes:

- *Aprendí las diversas etapas de la clonación a lo largo de la historia.*
- *Aprendí la historia de la clonación y todos sus procesos que han ido actualizándose.*
- *Aprendí las formas básicas de la clonación y el proceso hasta llegar a una técnica de esta viable.*

Por tanto, para el siguiente diseño se propone modificar la actividad pero sin perder de vista el desarrollo histórico del tema.

Parte fundamental de la evaluación formativa fue la actividad donde los estudiantes identificaron de manera individual la representación de la clonación, de la técnica y de las características de los clones en el cine de ciencia ficción. En la Tabla 4.3 y la Tabla 4.4 se muestran algunas respuestas que se obtuvieron para las películas Parque Jurásico (1993) y El 6º Día (2000), respectivamente.

Tabla 4.3 Respuestas sobre las representaciones de la película Parque Jurásico (1993).

<p>Representación de la clonación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Los clones son dinosaurios de todo tipo como Tiranosaurios, branquiosaurios o velocirrautores.</i> • <i>Los clones son realizados desde una gota de sangre de un mosquito. Todos los clones son hembras.</i> • <i>Por una picadura de mosquito a dinosaurios. No es factible porque ya no se cumple con el proceso natural de vida.</i> • <i>Algunos lo ven con beneficios y otros como una falta a la naturaleza. Los dinosaurios, ya tuvieron su fase, las plantas pueden reaccionar distinto por el clima, que no es el mismo.</i>
<p>Representación de la técnica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Con una gota de sangre existe ADN y los mosquitos prehistóricos fosilizados en gotas de ámbar. En ella encontraron gotas de ADN de dinosaurio y con la secuencia de diferentes animales completan dicha secuencia para crear dinosaurios, los clonan de ese ADN.</i> • <i>Extracción de ADN de la sangre, las supercomputadoras ayudan a descomponer la cadena para poder completarla.</i> • <i>Lo modifican genéticamente con mitosis celular y a completarlo.</i> • <i>Pues tienen como un sistema lleno de científicos. Lo hacen ver fácil. Alteran los cromosomas.</i>
<p>Características de los clones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Todos son hembras. Derivados de una secuencia de ADN.</i>

-
- *Hembras. Agresivas.*
 - *Idénticos, sus instintos prevalecen. Todos son hembras.*
 - *Son iguales.*
-

Tabla 4.4 Respuestas sobre las representaciones de la película El 6º Día (2000).

Representación de la clonación:

- *Toman el proceso de clonación como algo muy fácil, en su proceso sólo basta con que la persona muera para transferirla como a otro cuerpo.*
 - *Como un modelo que se puede copiar en poco tiempo y haciendo que tenga el mismo comportamiento, que el original.*
 - *Los incuban, ya están preparados los moldes.*
 - *Es ilegal clonar.*
-

Representación de la técnica:

- *Extraer ADN pelo o sangre. Se le ponen los recuerdos a través del nervio óptico.*
 - *Por medio de fetos ya incubados sólo copiando la genética.*
 - *Se extrae sangre del perro y después se extraen los pensamientos y recuerdos del perro original.*
 - *Se extrae el ADN del pelo a las mascotas y a los humanos, ya teniendo un molde les agregaban el ADN.*
-

Características de los clones:

- *Son de la misma edad que los originales, tienen el mismo comportamiento y no saben que fueron clonados.*
 - *Los clones son idénticos a los sujetos originales.*
 - *Son igual, con el mismo pensamiento.*
 - *Presenta las características físicas y los recuerdos iguales.*
-

Como se mencionó en el capítulo anterior, en esta actividad se evaluaría que los estudiantes distinguieran, para ambas películas, que la clonación se enmarca en un contexto negativo, por ejemplo, que provoca desequilibrios en la naturaleza; que distinguieran la simplicidad con que se representa la técnica, por ejemplo, que los clones se hacen en pocas horas, así como la duplicación de personajes como imagen prototípica de la clonación.

Así, el 7% de los estudiantes distingue que la clonación se enmarca en un contexto negativo (Fig. 4.3 A), el 31% identifica la simplicidad con que se representa la técnica de clonación (Fig.

4.3 B) y sólo el 18% reconoce la duplicación de personajes como imagen prototípica (Fig. 4.3 C).

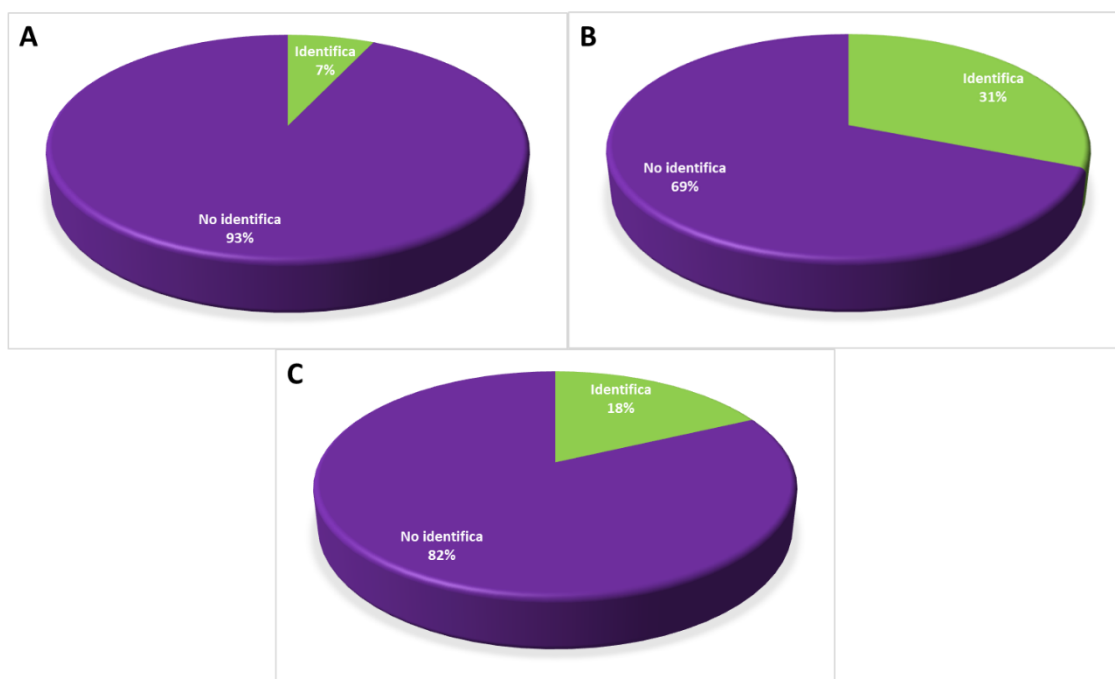


Fig. 4.3 Porcentaje de estudiantes que identifican la representación de la clonación (A), de la técnica (B) y las características de los clones (C).

Los resultados indican que identificar la representación cinematográfica de la clonación causó conflictos a los estudiantes. Sin embargo, las respuestas permitieron identificar dichos conflictos y hacer cuestionamientos minuciosos.

Respecto al preguntar, Taba (1992 citado por Acosta, 2002) lo ha catalogado como «el único y más influyente de los procesos en el acto de enseñar». Del mismo modo, Ramsey (1990 citado por Acosta, 2002) y Booth (2001 citado por Acosta, 2002) han concluido que las preguntas son herramientas efectivas que los profesores pueden usar para guiar al estudiante a pensar.

De acuerdo con Acosta (2002), una de las maneras de llevar a cabo estos procesos de preguntar es por medio del diálogo, el cual fue la herramienta que se consideró para enriquecer el pensamiento crítico. Esta estrategia ha demostrado ser muy útil dentro de

diferentes escenarios del proceso enseñanza-aprendizaje pero se considera que se requiere mayor entrenamiento del docente.

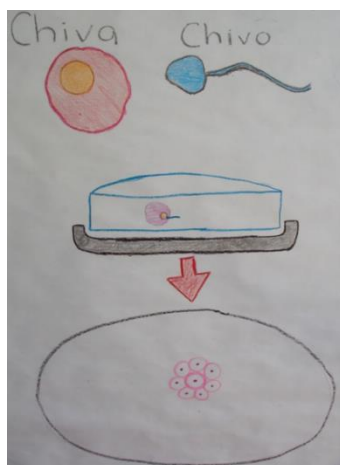
Durante las preguntas los estudiantes se mostraron participativos pero la mayoría de sus respuestas fueron incompletas o confusas e incluso no respondieron. Lo anterior evidencia la falta de habilidad para identificar ideas, analizarlas y emitir juicios críticos. Sin embargo, se considera que utilizar el cine de ciencia ficción propició el interés de los estudiantes.

Debido a lo anterior, se propone que para el siguiente diseño los aspectos que los estudiantes identifiquen sean más específicos y seguir fomentando el interés y el pensamiento crítico sobre el tema clonación mediante la forma en que se aborda en el cine de ciencia ficción.

1.3 Evaluación sumativa

Para la evaluación sumativa se tomó en cuenta la resolución de un escenario y la elaboración de un dibujo por parejas. Del escenario se evaluó que las parejas determinaran si se trataba o no de clonación, del dibujo se evaluaron dos aspectos: que privilegiara la acción comunicativa, es decir, que represente el escenario y acompañe la explicación verbal; y la dimensión cognitiva, esto es, que acentúe los aspectos biológicamente significativos.

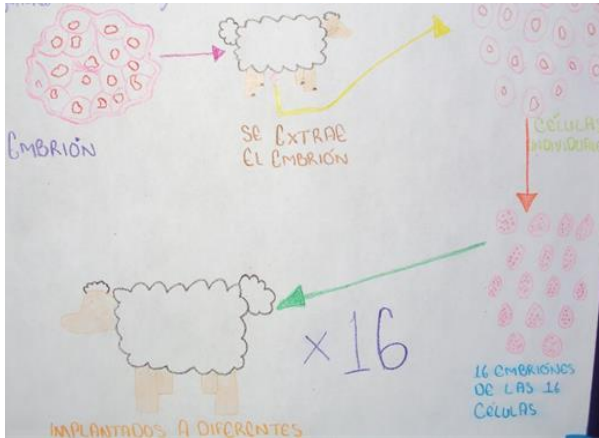
En la Fig. 4.4 se presentan los dibujos y las determinaciones de cada pareja.



Pareja 1: No es clonación 😊



Pareja 4: No es clonación 😊



Pareja 2: Sí es clonación 😊



Pareja 5: No es clonación 😊



Pareja 3: No es clonación



Pareja 6: Sí es clonación 😊

Fig. 4.4 Dibujos elaborados por las parejas y resolución del escenario. La carita indica que el escenario se resolvió correctamente.

Respecto a los planteamientos biológicos, 83% de las parejas los respondieron correctamente y 17% no (Fig. 4.5). Estos resultados indican que la mayoría comprendieron los elementos disciplinares básicos para poder clonar organismos; por ejemplo, que el núcleo contiene la información genética, que en un organismo todas las células contienen la misma información, que a partir de células diferenciadas es posible obtener clones, que al escindir un embrión es posible obtener una cohorte de clones cuyo comportamiento será diferente, etcétera.

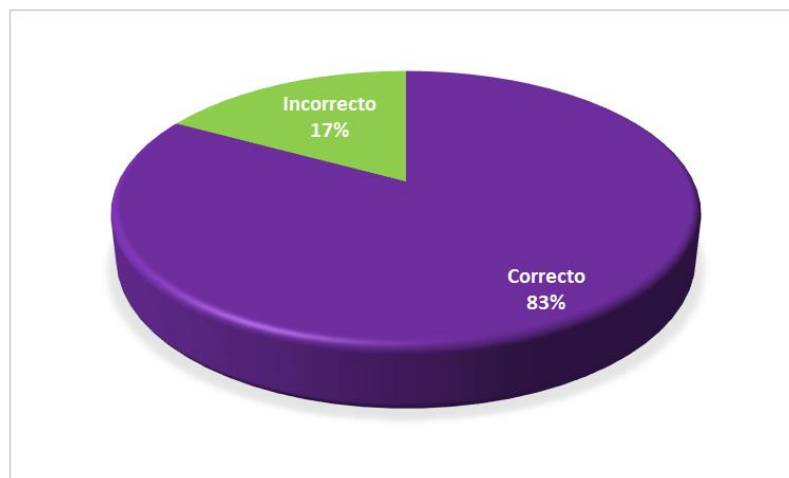


Fig. 4.5 Porcentaje de estudiantes que resolvió correcta e incorrectamente el escenario planteado.

En cuanto a los dibujos, en todas las parejas se observa comprensión del escenario, por lo tanto sus representaciones sirven para comunicarlo. Sin embargo, reflejan que no tienen una representación mental clara de la célula y que poseen una percepción muy pobre de su estructura y función, lo cual muestra un conocimiento sobre la célula bastante limitado.

Así, lo más enriquecedor de la actividad fue la discusión por parejas para resolver el escenario, la presentación por parejas y la discusión grupal (Fig. 4.6). Además los estudiantes mostraron bastante disposición para realizar la actividad.

En cuanto a la actividad algunos estudiantes refirieron lo siguiente:

- *Me gustó la actividad de dibujar para explicar y debatir los puntos de vista sobre el conocimiento del tema.*
- *Sentí que regrese a mi educación del kínder en el Montessori.*

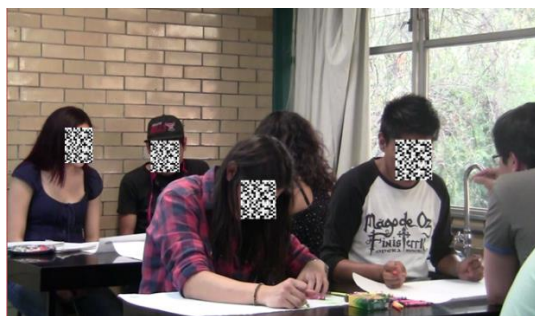




Fig. 4.6 *Discusión en parejas, elaboración de dibujos, presentación y discusión grupal.*

Una vez que se evaluaron todas las actividades, se concluyó que los estudiantes adquirieron conocimientos sobre el tema pero se modificarán y propondrán otras actividades para facilitar el aprendizaje y fomentar el pensamiento crítico.

2. Evaluación de la secuencia didáctica 2

El segundo diseño de la secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación...* se aplicó en abril de 2016. La población estudiantil se conformó por estudiantes del CCH Sur inscritos en la asignatura de Biología (turno vespertino), con un rango de edades de entre 17 y 19 años. La población estudiantil varió durante la intervención, por ello el análisis de resultados se basa en 16 estudiantes que hicieron todas las actividades. Para evaluar la secuencia se consideró la evaluación diagnóstica, la evaluación formativa y la evaluación sumativa.

2.1 Evaluación diagnóstica

Al igual que en la secuencia anterior, se preguntó a los estudiantes sobre el resultado de clonar a su mascota, es decir, si la mascota clonada sería exactamente igual a la original y por qué. Aunque esta vez se cambió el tono emotivo del texto. Algunas de las respuestas que se obtuvieron fueron las siguientes:

- *No, porque cada organismo tiene genes específicos, y sería una copia idéntica, pero no igual.*

- *No. Porque según lo que he escuchado, una clonación es sólo hacer exactamente igual la parte física del ser, lo que no podrán igualar será la parte sentimental o de comportamiento.*

- *No, porque la ciencia no es exacta.*

- *Si porque es como si fuera una copia.*

- *En el aspecto físico, o sea rasgos físicos si, pero en cuanto al comportamiento psicológico no, ya que el tipo de personalidad no depende meramente del tipo de ADN o de rasgos físicos.*

A partir de las respuestas se evaluó que los estudiantes distinguieran que desde el punto de vista genético los clones son iguales pero el ambiente determina que su comportamiento sea distinto. Los resultados indican que 69% de los estudiantes identifican un componente genético y un componente ambiental mientras que el 31% no especifica ninguno de los dos, tales resultados se muestran en la Fig. 4.7.

Aunque la actividad permite conocer las ideas previas de los estudiantes acerca de la clonación, se considera más conveniente utilizarla en la sesión de las películas porque permitiría comprobar la postura final de los estudiantes sobre ambos aspectos (genética y ambiente).

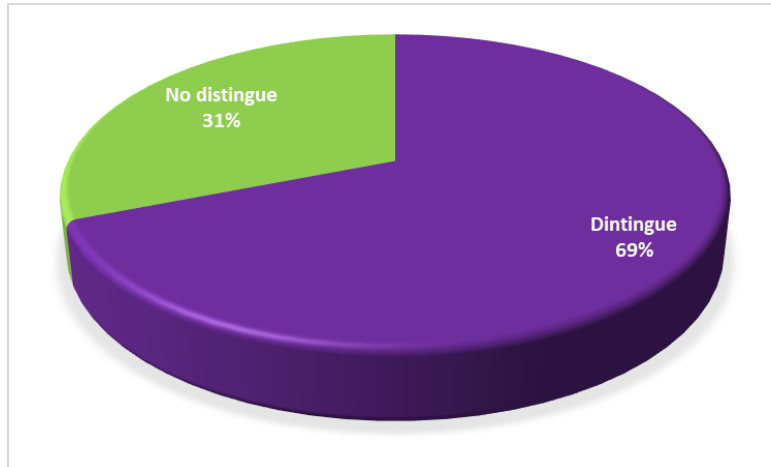


Fig. 4.7 Porcentaje de estudiantes que distinguen y no distinguen que los clones son genéticamente iguales y que el ambiente determina su comportamiento.

2.2 Evaluación formativa

Como evaluación formativa se tomó en cuenta el llenado del formato Cornell para tomar apuntes, este se realizó de manera individual. Sólo se evaluó la organización de la información, es decir, que reflejara la secuencia de la exposición, el uso de preguntas, palabras clave, notas breves, dudas y el resumen. En esta actividad 63% de los estudiantes organizaron muy bien la información y 37% la organizaron bien (Fig. 4.8), en la Fig. 4.9 se muestran los ejemplos.

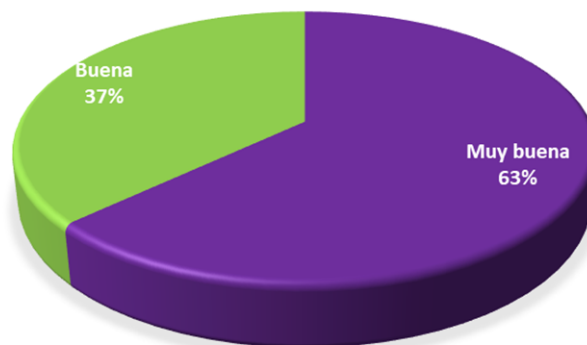


Fig. 4.8 Porcentaje de estudiantes cuya organización de la información en el formato Cornell fue muy buena y buena.

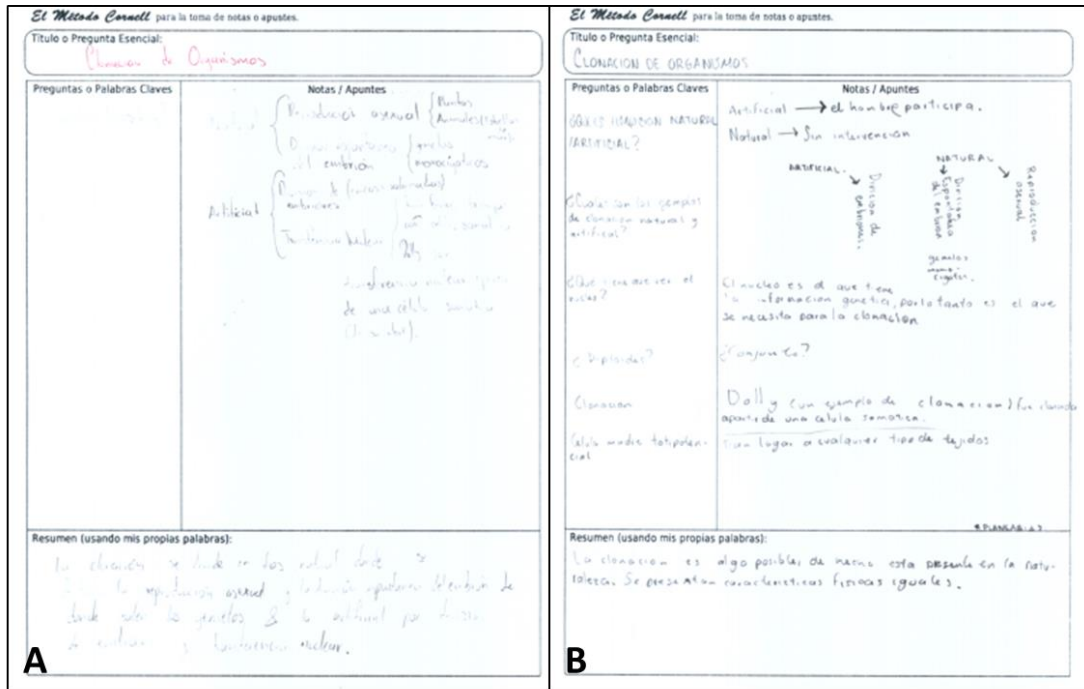


Fig. 4.9 Ejemplos de organización del formato Cornell. A. Buena organización de la información. B. Muy buena organización de la información.

Aunque la intención principal de implementar el sistema Cornell fue que los estudiantes prestaran atención a la exposición-discusión para tener las bases disciplinares que les permitieran abordar la parte fundamental de esta secuencia, es decir el cine de ciencia ficción; y los resultados fueron aceptables, se propone buscar una actividad en que los estudiantes se involucren más ya que algunos de sus comentarios fueron los siguientes:

- No me gustó que la explicación fue muy extensa.
- No me gustó que eran muchas preguntas.
- Me dio un poco de pena cuando me preguntaban algo y no sabía que decir

Como se mencionó, parte esencial de la evaluación formativa fue la actividad donde se utilizó el cine de ciencia ficción para promover el pensamiento crítico. Para dicha actividad los estudiantes resolvieron un cuestionario de cuatro preguntas para la película Parque Jurásico (1993) y seis preguntas para la película El 6º Día (2000), en la Fig. 4.10 se muestran algunos ejemplos de cuestionarios resueltos.

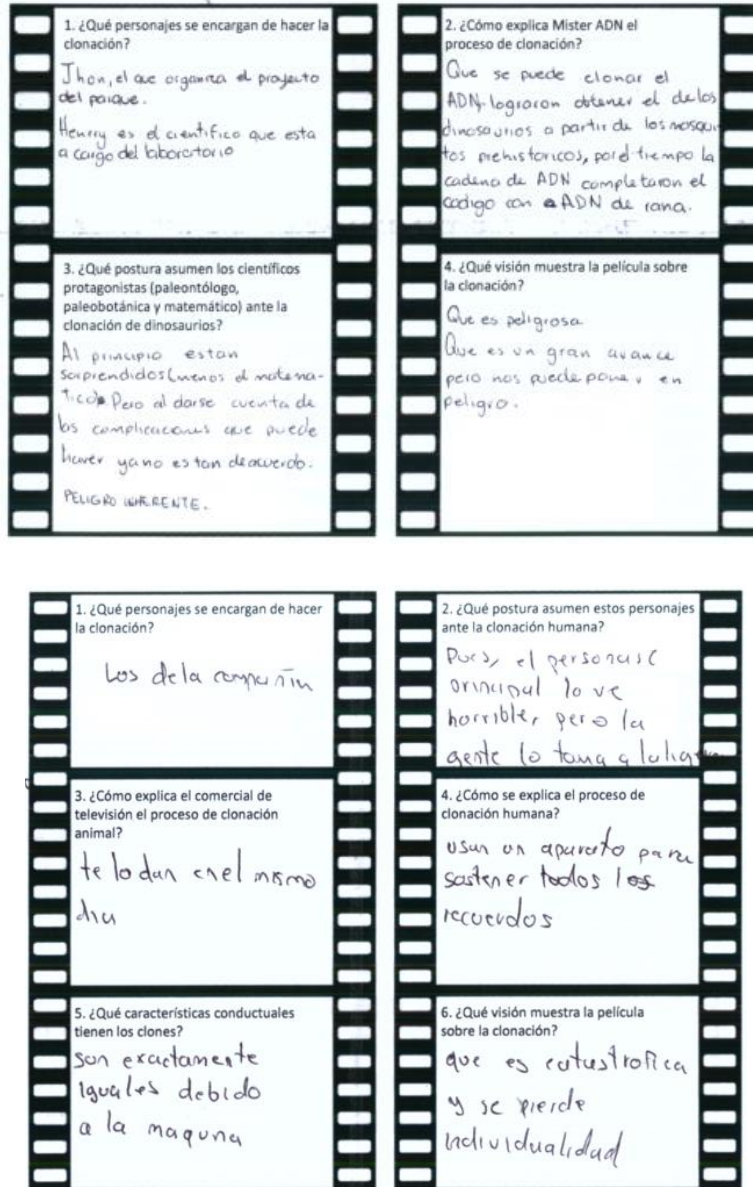


Fig. 4.10 Cuestionarios para las películas Parque Jurásico (1993) y El 6º Día (2000).

Respecto a los cuestionarios, el 82% de los estudiantes respondió acertadamente todas las preguntas de la película Parque Jurásico y 18% mostró dificultades para responder al menos una pregunta. De la película El 6º Día, 64% completó satisfactoriamente el cuestionario y 36% no respondió dos o más preguntas (Fig. 4.11).

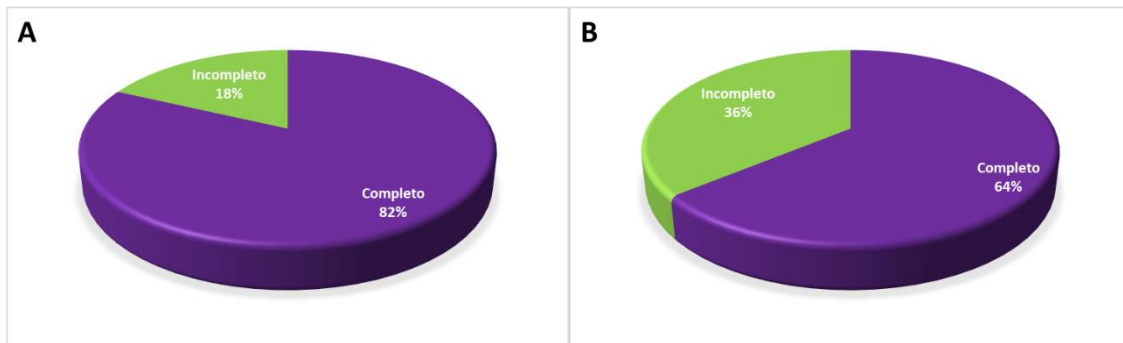


Fig. 4.11 Porcentaje de estudiantes que completó y no completó los cuestionarios de las películas Parque Jurásico (A) y El 6º Día (B).

Durante la discusión de los cuestionarios la participación de los estudiantes fue escasa, inicialmente se pensó que se debía a la falta de interés o a la incomprensión del tema. Sin embargo, en la plenaria se observó que la mayoría de los estudiantes presentan dificultades para organizar y expresar oralmente sus ideas y que tienen gran temor a la equivocación o a la opinión que pueden tener el profesor y los compañeros.

No obstante, conforme avanzó la sesión el diálogo se tornó más fluido, algunos de los comentarios de cierre fueron los siguientes:

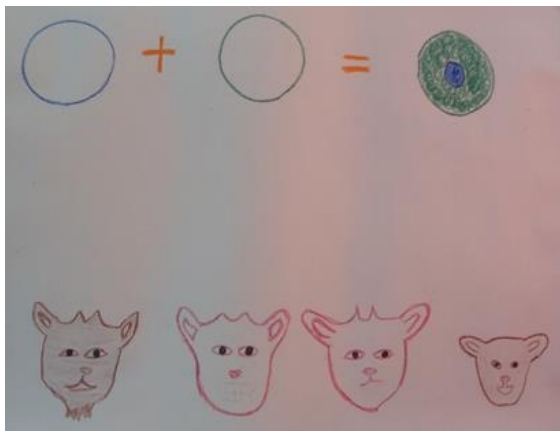
- *En la parte cinematográfica dicen que es posible hacer la clonación en un solo día y que tendrá las mismas características emocionales pero en la realidad tardan y no son exactamente iguales.*
- *La clonación científica tarda tiempo y en la ficción es instantánea. No se varían los genes del clon, en la ficción si se manipulan al gusto.*
- *En las películas lo ponen como algo muy fácil aunque tengan diferentes variables. Mientras que científicamente muchas cosas de esas son imposibles y es muy difícil.*
- *Las diferencias que hay en la clonación real, a este tipo de clonación es que la clonación de la película es muy ficticia, al hacer creer que se pueden integrar a un clon los recuerdos y la personalidad del clon a si mismo.*

Tales comentarios evidencian que utilizar el cine de ciencia ficción promueve el pensamiento crítico porque los estudiantes, aunque de manera novata, corrigen el pensamiento erróneo y los juicios previamente elaborados a través de prejuicios o desinformación.

Dado que parte fundamental de la secuencia didáctica es fomentar el pensamiento crítico, se propone eliminar una de las películas propuestas para ampliar el diálogo. A pesar que los estudiantes tienen más referentes de la película Parque Jurásico, para la siguiente secuencia se trabajará sólo con la película El 6º Día porque trata la clonación tanto de animales como de humanos.

2.3 Evaluación sumativa

Al igual que en la secuencia didáctica anterior, para la evaluación sumativa se consideró la resolución de un escenario y la elaboración de un dibujo por equipo. Esta vez sólo se plantearon cinco escenarios, por lo tanto se formaron cinco equipos. Se evaluó que los equipos determinaran si se trataba o no de clonación y del dibujo que privilegiara la acción comunicativa (represente el escenario y acompañe la explicación verbal) y la dimensión cognitiva (que acentúe los aspectos biológicamente significativos), los resultados se muestran en la Fig. 4.12.



Equipo 1: No es clonación 😊



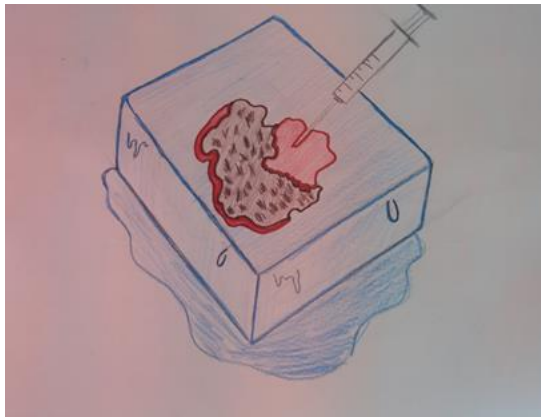
Equipo 2: No es clonación



Equipo 3: Sí es clonación 😊



Equipo 4: No es clonación 😊



Equipo 5: Sí es clonación 😊

Fig. 4.12 Dibujos elaborados por las parejas y resolución del escenario. La carita indica que el escenario se resolvió correctamente.

En cuanto a los escenarios biológicos, 80% de los equipos lo resolvieron correctamente y 20% no (Fig. 4.13). Lo anterior indica que la mayoría comprendió los contenidos disciplinares del tema. Sin embargo, los dibujos distan considerablemente de comunicar efectivamente los planteamientos (excepto el del equipo 3).

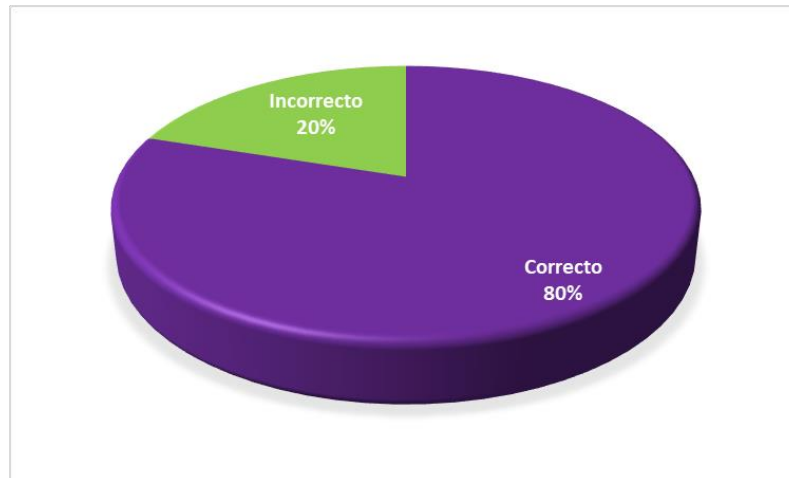


Fig. 4.13 Porcentaje de estudiantes que resolvió correcta e incorrectamente el escenario.

Por otra parte, los aspectos biológicos del dibujo (menos el equipo 3) reflejan que no tienen una representación mental clara de la célula; por ejemplo, el equipo 1 representa un espermatozoide con un círculo azul, un óvulo con un círculo verde y la combinación como la suma de ambos círculos. El equipo 2 sí representa una regionalización de la célula en núcleo y citoplasma pero en el embrión no simboliza los límites de cada célula. Del mismo modo, el equipo 4 representa óvulos sólo como círculos sin distinguir al menos entre núcleo y citoplasma. El equipo 5 representa un tejido como un conjunto de núcleos desorganizados, sin delimitación ni regionalización de las células.

En conjunto, sus representaciones muestran limitada comprensión de la célula así como de su estructura y función.

A pesar de que en las sesiones anteriores los estudiantes mostraron renuencia a participar, se considera que la discusión en equipos, la presentación y la discusión grupal (Fig. 4.14) de la sesión final fue más productiva, al respecto algunos estudiantes refirieron lo siguiente:

- Me gustó que fue una clase didáctica y la gran mayoría participó mucho.
- Me gustaron “los debates” que se generaron.
- Me gustó la dinámica aplicada con el grupo y la interacción.
- Me gustó la participación interactiva y veloz, también las diferentes opiniones y la expresión de los compañeros.



Fig. 4.14 *Discusión, elaboración de dibujos, presentación y discusión grupal.*

Esta actividad ha tenido muy buenos resultados y permite evaluar la comprensión del contenido respecto a la ciencia, sin embargo, falta evaluar el aprendizaje en relación con el cine de ciencia ficción, por lo tanto, la actividad deberá modificarse.

De este modo, al finalizar la evaluación se decidió favorecer las actividades en que los estudiantes sean partícipes porque aunque con los diseños propuestos han adquirido conocimientos del tema, las actividades donde se han involucrado directamente han tenido mejores resultados.

3. Evaluación de la secuencia didáctica 3

El tercer diseño de la secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación...* se aplicó en marzo de 2017. La población estudiantil se conformó por estudiantes del CCH Sur inscritos en la asignatura de Biología (turno matutino), con un rango de edades de entre 16 y 17 años. Aunque la población varió durante la intervención, el análisis de resultados se centra en 21 estudiantes que realizaron todas las actividades. Para evaluar la secuencia se tomó en cuenta la evaluación diagnóstica, la evaluación formativa, la evaluación sumativa, así como un *pretest* y un *postest*.

3.1 Evaluación diagnóstica

Para la evaluación diagnóstica se mostró una imagen de dos pares de gemelos, se valoró que eligieran el par monocigótico y que justificaran su elección en torno a que comparten la misma información genética debido a su origen, es decir, a que nacen a partir de la división

de un mismo óvulo fecundado. El 100% de los estudiantes eligió el par correcto pero sólo el 35% distingue que genéticamente son iguales por su origen, el resto (65%) únicamente hace referencia a las características físicas (Fig. 4.15). Algunas de las justificaciones fueron las siguientes:

- *Porque son del mismo sexo y comparten las mismas características*
- *Fenotipos iguales (fenotipos manifestados idénticos)*
- *Porque al separarse el cigoto crea un mismo genotipo y fenotipo*
- *Porque en el par monocigótico, se realiza una fecundación con un espermatozoide y salen 2*

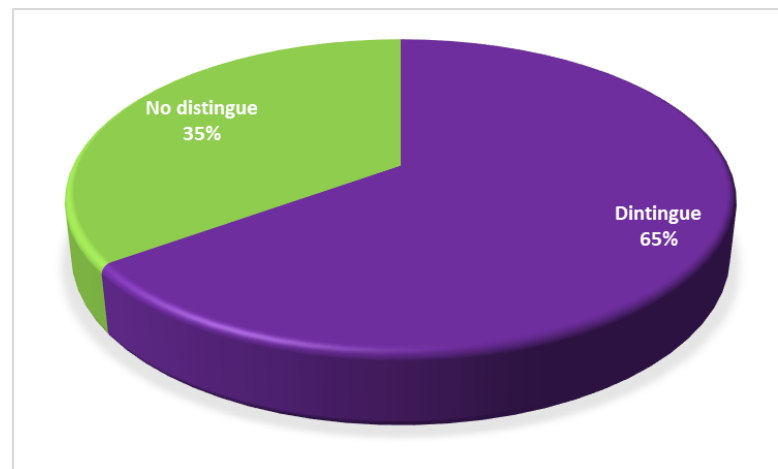


Fig. 4.15 Porcentaje de estudiantes que distingue y no distingue el origen de los gemelos monocigóticos

Estos resultados permiten identificar las ideas previas de los estudiantes sobre los clones y cuántos los reconocen como organismos idénticos (desde el punto de vista genético) que se originan a través de reproducción asexual, es decir, la base para comprender el tema.

3.2 Evaluación formativa

Parte de la evaluación formativa fue la interpretación del experimento de clonación (descripción, resultados y conclusiones) que los equipos expusieron en el organizador gráfico (Fig. 4. 16).

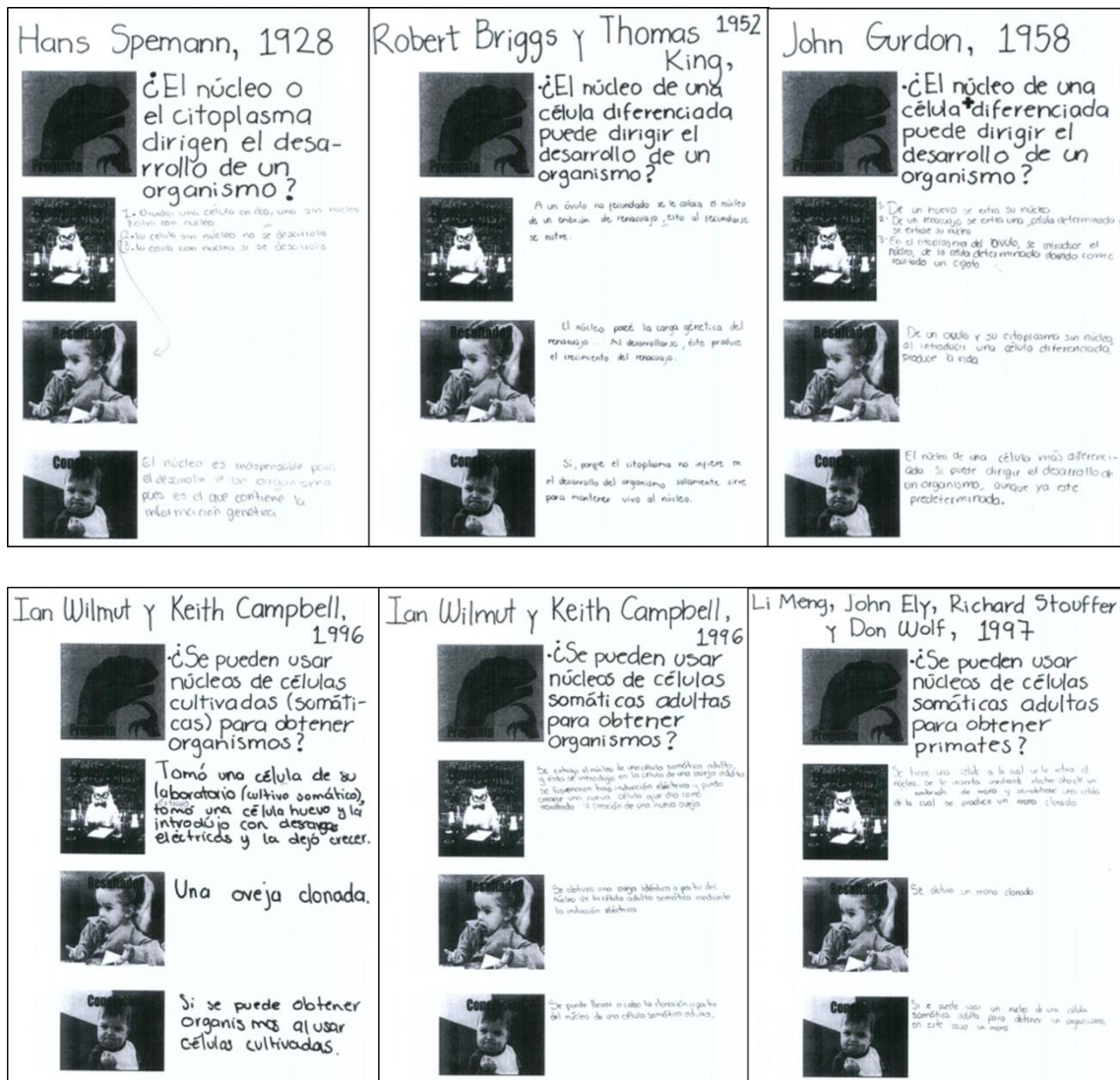


Fig. 4. 16 Organizadores gráficos de los experimentos de clonación elaborados en equipo.

La importancia de la actividad radicó en que los estudiantes pudieran ampliar sus puntos de vista e ir progresivamente incorporando nueva información. Para ello se propuso abordar algunos episodios significativos en la historia de la clonación, ya que esta forma de estudiar el tema brinda a los estudiantes la oportunidad de reflexionar sobre él y los propósitos de la ciencia de acuerdo a las características propias de cada época; pues existe la creencia de que la clonación surgió porque los científicos querían “jugar a ser Dios” (visión negativa que fomentan muchas cintas).

De esta manera, al valorar los organizadores gráficos se tiene que sólo el 17% de los equipos hizo una interpretación correcta del experimento mientras que el 83% muestra falta de comprensión (Fig. 4.17 A). En cuanto a la interpretación de los resultados, 83% de los equipos logró identificarlos satisfactoriamente y el 17% no los identificó (Fig. 4.17 B). Respecto a las conclusiones, 67% de los equipos las precisó apropiadamente y 33% muestran ambigüedad para reconocerlas (Fig. 4.17 C).

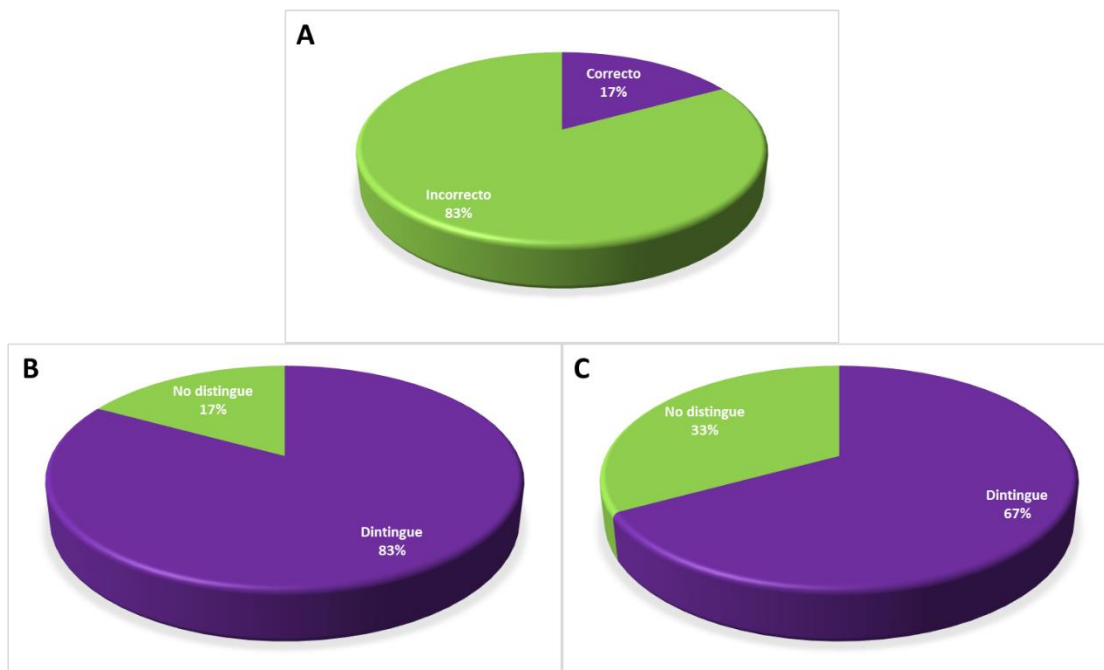


Fig. 4.17 Porcentajes de equipos que describieron correcta e incorrectamente el experimento (A), así como lo que distinguieron y no distinguieron los resultados (B) y las conclusiones (C).

Sin embargo, durante la presentación oral de los organizadores, los estudiantes mostraron habilidades para sistematizar, establecer conexiones, semejanzas y distinciones significativas que les permitían dar razones suficientes para sustentar opiniones. Tales resultados indican la importancia de ofrecer a los estudiantes oportunidades para desarrollar habilidades que les permitan interpretar información científica y analizarla críticamente.

Por otra parte, durante la simulación de la transferencia nuclear de células somáticas (Fig. 4.18) se observó un clima de alegría, creatividad, juego y compañerismo; lo cual favoreció la convivencia, la participación, la libertad de expresión, la escucha activa y el respeto a las

opiniones. Lo anterior permitió valorar la evolución del aprendizaje de los estudiantes desde sus conocimientos previos hasta los conocimientos adquiridos al final de la sesión.



Fig. 4.18 Simulación de la técnica de transferencia nuclear de células somáticas.

Como parte fundamental de la evaluación formativa se indujo a los estudiantes hacia la identificación de estereotipos en la película “El 6º Día”. Para ello, primero se valoraron las ideas de los estudiantes sobre la personalidad y edad de los clones a través de imágenes, algunas parejas expresaron lo siguiente:

- *Es igual a él de aburrido, comparten la misma información genética por lo que son iguales física y psicológicamente.*
- *Por ser dos personas iguales, por lógica los gustos de unos son iguales que el otro, por tener la misma información genética no es posible que tenga una personalidad diferente.*
- *El adolescente, estudiante probablemente de Bachillerato, tiene flojera de elaborar su tarea, entonces le dice a él que haga su tarea pero por consecuencia el clon al tener las mismas características que el original se niega a hacerla, obvio porque al clon también le da flojera.*
- *El adolescente que no está clonado tiene los conocimientos necesarios para realizar su tarea pero el clon comparte características físicas, pero no los conocimientos para realizar la tarea.*

- *Puede que físicamente compartan las mismas características, sin embargo en el modo de pensar puede variar según el desarrollo y medio por el que cada uno fue influenciado. En cuanto a edad varía, porque no se desarrollaron al mismo tiempo.*
- *La personalidad es diferente porque esto se desarrolla conforme los sucesos que pasaran en sus vidas. En la edad si son iguales.*

Así, se determinó que 45% de las parejas cree que los clones tienen la misma personalidad y la misma edad, en cambio, el 55% identifica que la personalidad y la edad se determina por otros factores y circunstancias (Fig. 4.19).

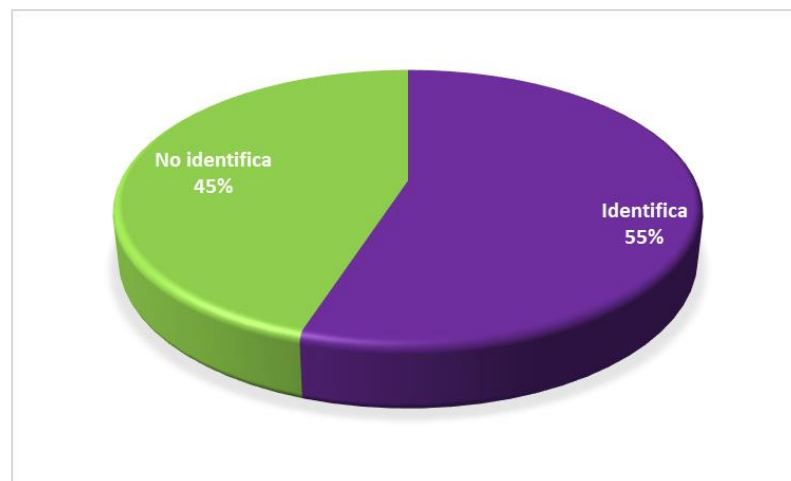


Fig. 4.19 Porcentaje de estudiantes que identifica o no identifica que es distinta la personalidad y la edad de los clones.

Después de la valoración, se proyectó la película “El 6º Día” y se discutieron escenas relacionadas con el contenido disciplinar (clonación) y los estereotipos señalados antes (personalidad y edad). Durante la discusión los estudiantes se mostraron participativos, lo cual nutrió el diálogo.

A continuación se presentan ejemplos de las escenas que se discutieron y fragmentos del diálogo que se entabló con los estudiantes.

Durante los primeros minutos de la película se muestra un comercial en que se expresa lo siguiente: *Son compañeros de juego, buenos amigos, nos guardan secretos y son incondicionales. Como su vida es más corta, estos miembros de la familia nos rompen el corazón. Si un accidente, la edad o una enfermedad terminan con la vida de su mascota,*

nuestra tecnología de ADN puede devolverle a su mascota ese mismo día, con buena salud y cero defectos (Fig. 4.20).



Fig. 4.20 Escenas de la película "El 6º Día" donde se muestra un comercial sobre clonación de mascotas.

Después de la escena se pregunta a los estudiantes:

Docente – *¿En cuánto tiempo te devuelven la mascota clonada?*

Estudiantes – *El mismo día*

Docente – *¿Es posible? ¿Qué piensas tú?*

Estudiante – *Que lleva bastante tiempo*

Docente – *¿Y por qué dices eso?*

Estudiante – *Porque en lo que se forma el feto, en lo que se va desarrollando, llevaría tiempo, por eso no sería posible entregarlo el mismo día.*

Docente – *Muy buena observación, ¿qué más?*

Posteriormente, se muestra una escena donde el personaje principal, Adam, descubre que le han clonado y su clon disfruta de su fiesta de cumpleaños (Fig. 4.21).



Fig. 4.21 Escenas de la película "El 6º Día" donde Adam descubre a su clon.

Después de la escena se inicia la discusión:

Docente – ¿En qué momento crees que clonaron a Adam?

Estudiante – Según la película, hace unas horas

Docente – ¿Qué te hace pensar eso?

Estudiante – que a las mascotas las clonan el mismo día

Docente – ¿Puedes mencionar otro momento en que pudo ocurrir la clonación?

Estudiante – Durante el nacimiento

Docente – ¿Puedes aclarar un poco más lo que quieres decir?

Estudiante – a lo mejor son gemelos, por eso se ven iguales, de la misma edad

Docente – Muy bien, ¿Alguien tiene otro punto de vista?

De la misma forma, se analizaron varias escenas de la película a fin de comparar y contrastar la información que presentaba con la información científica que previamente se había estudiado.

Cabe señalar que durante la intervención ocurrieron eventos significativos para la investigación, por ejemplo, una estudiante mencionó que creía que los clones tenían el mismo comportamiento pero después de escuchar las participaciones de sus compañeros, se daba cuenta de por qué no podía ser; tal comentario se interpreta como una disposición del pensamiento crítico que Ennis (2015) enuncia como una tendencia modificar una postura cuando existan razones suficientes para hacerlo.

Otro ejemplo ocurrió con un estudiante que mostró un asombro genuino e hizo muchas preguntas hasta que comprendió que los clones que se muestran en la cinematografía no corresponden con la realidad; este caso también se interpreta como una disposición del pensamiento crítico que Domínguez et al., (2006) expresan como una tendencia a preguntarse sobre la información proporcionada.

El resultado final de la actividad permite expresar que el cine de ciencia ficción empleado como recurso didáctico puede contribuir a generar conocimiento formal y ampliar nuestro conocimiento sobre otros contextos (en este caso, conocimiento científico sobre el tema biológico de clonación). Del mismo modo, favorece la interpretación, el análisis, la elaboración de explicaciones, la evaluación de causas y situaciones; es decir, el pensamiento crítico.

3.3 Evaluación sumativa

Para la evaluación sumativa se valoró que los estudiantes diferenciaron la representación de la clonación en la ficción cinematográfica y en la ciencia. Para ello, se implementó una dinámica participativa para que todo el grupo elaborara el diagrama de Venn, el cual permite comparar y contrastar ideas. En la Fig. 4. 22 se muestra que en los extremos derecho e izquierdo se colocan las diferencias entre las representaciones de la clonación y en el centro se coloca lo que tienen en común.

Durante la actividad los participantes demostraron un buen dominio del tema, así como la integración de cierta información y conocimientos que ayudaron a enriquecer el diagrama. También se observó que analizaban las intervenciones porque discutían en torno a las aportaciones de sus compañeros.

Así, se logró identificar que al menos el 80% de los estudiantes lograron distinguir las diferencias y similitudes de la clonación en el contexto científico y cinematográfico. Este resultado se corresponde con la evaluación del *pretest* y *posttest* que se muestra a continuación.

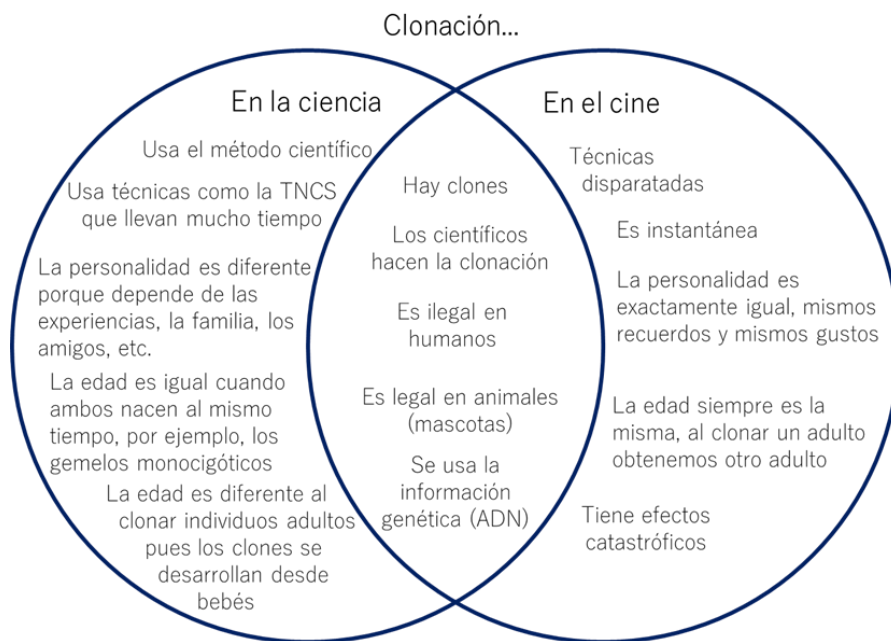


Fig. 4.22 Diagrama de Venn elaborado grupalmente. TNCS=Transferencia Nuclear de Células Somáticas

3.4 Evaluación del *pretest* y del *posttest*

Como se mencionó en el capítulo anterior, al tercer diseño se agregó la evaluación con un *pretest* y un *posttest*. La finalidad de las pruebas es obtener más información sobre el aprendizaje de los estudiantes antes y después del proceso de intervención.

Tanto el *pretest* como el *posttest* presentan dos secciones, una conformada por cuestiones que los estudiantes debiesen conocer y que permiten integrar el contenido, por ejemplo, haploide, diploide, célula somática, etcétera; y otra de preguntas sobre el tema a tratar, digamos, las técnicas de clonación. Además, en el *posttest* se incluyeron algunos puntos abordados en clase.

Un conocimiento importante para comprender el fundamento de la clonación es el concepto núcleo. Así, en el *pretest* se pidió a los estudiantes que dibujaran una célula y señalaran la estructura celular donde se almacena, replica y expresa la información genética.

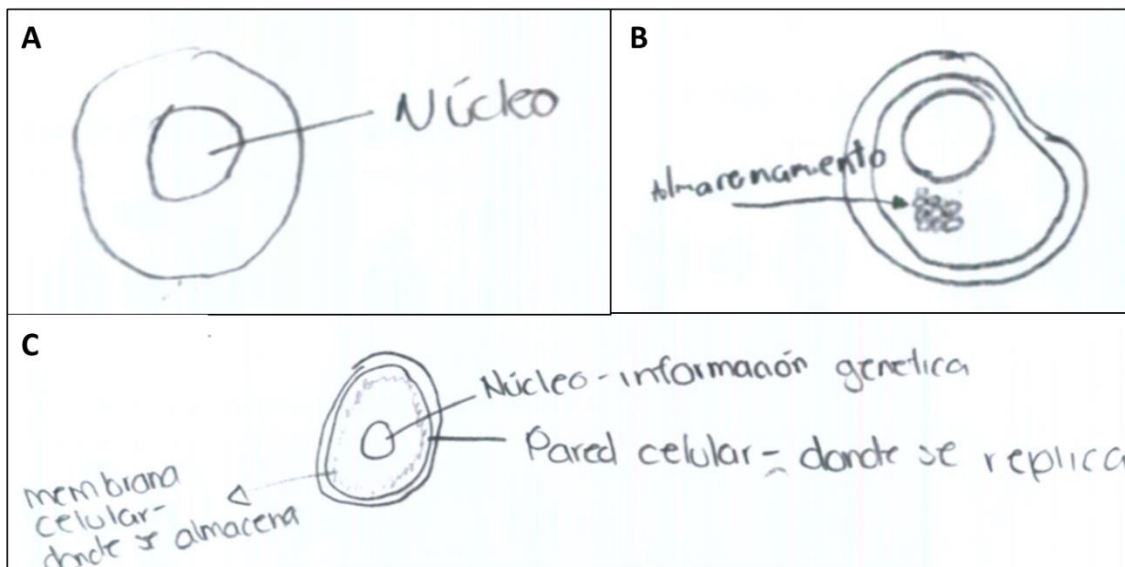


Fig. 4.23 Ejemplos de núcleos representados por los estudiantes. A) Presenta claridad sobre la estructura y almacenamiento de la información genética. B) No presenta claridad sobre el almacenamiento de la información genética y C) Presenta claridad sobre la estructura donde se almacena la información genética pero presenta ambigüedad sobre su almacenamiento.

Los dibujos indican que sólo el 33% de los estudiantes reconocía que el núcleo celular es la estructura donde se almacena, replica y expresa la información genética; como en el caso de la Fig. 4.23 A. El

77% restante representó el almacenamiento, la replicación y la expresión de la información genética en otras regiones de la célula (Fig. 4.23 B y C). De tal manera que en el *pretest* se detecta un conocimiento insuficiente o erróneo de lo que es la célula y el núcleo (Fig. 4.24).

En el *posttest* se pidió a los estudiantes que respondieran falso o verdadero a la siguiente cuestión: en el núcleo celular se almacena, replica y expresa la información genética. El 95% respondió acertadamente (Fig. 4.24). Lo anterior refleja un cambio considerable, al menos, a nivel conceptual.

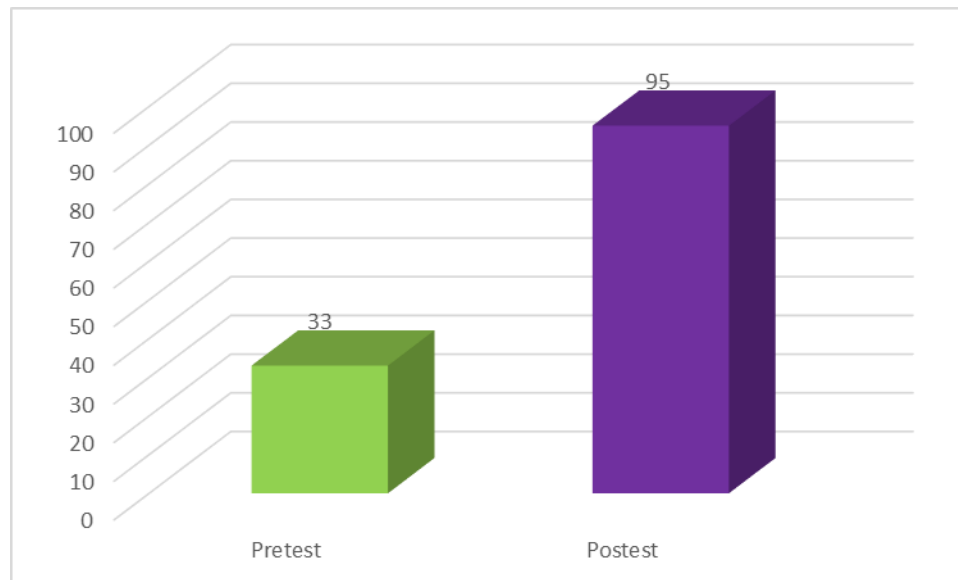


Fig. 4.24 Porcentaje de estudiantes que contestaron acertadamente la pregunta sobre el núcleo en el *pretest* y *posttest*.

Otro conocimiento importante para comprender el fundamento de la clonación es la diferencia entre célula somática y célula sexual así como su ploidía.

Por ello, en el *pretest* se preguntó a los estudiantes cuántos cromosomas tienen las células somáticas humanas. Únicamente el 43% de los estudiantes respondió correctamente (46 cromosomas o 23 pares). Del mismo modo, en el *posttest* se solicitó a los estudiantes que indicaran si el enunciado: las células diploides tienen 44 autosomas y 2 cromosomas sexuales, es falso o verdadero. Tan sólo el 48% acertó (Fig. 4.25).

Asimismo, en el *pretest* se preguntó a los estudiantes cuántos cromosomas tienen las células sexuales humanas. Sólo el 10% contestó adecuadamente. En el *posttest* se solicitó que

indicaran si el enunciado: las células haploides tienen 22 autosomas y 1 cromosoma sexual, es falso o verdadero. El 71% obtuvo una respuesta correcta (Fig. 4.25).



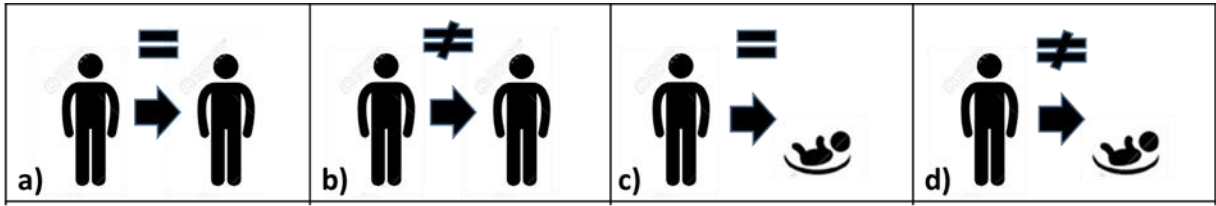
Fig. 4.25 Porcentaje de estudiantes que contestaron acertadamente la pregunta sobre la célula somática y la célula sexual en el pretest y el posttest.

Los resultados del *pretest* revelan una confusión entre conceptos, ya que más del 50% de los estudiantes respondió que las células somáticas humanas tienen 44 cromosomas, que en realidad es el número de autosomas. Del mismo modo, responden que las células sexuales humanas tienen 2 cromosomas, lo cual corresponde con el número de cromosomas sexuales de una célula somática. Debido a lo anterior, los conceptos haploide y diploide también se les dificultan.

En cuanto al *posttest*, se encuentra que no hay un cambio importante en la pregunta del número de cromosomas de las células somáticas. Sin embargo, en la pregunta sobre el número de cromosomas de las células sexuales, se observa una modificación notable que se interpreta como una mejora en la comprensión sobre el número de juegos completos de cromosomas en una célula sexual.

Respecto a las cuestiones específicas del tema, en el *pretest* se planteó la siguiente:

Encierra el dibujo que representa el resultado de la clonación.



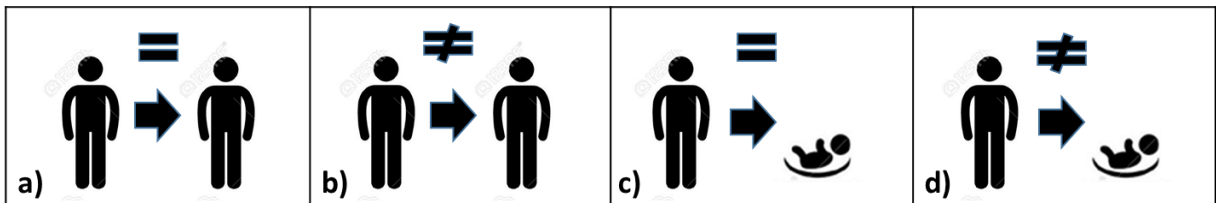
- a) Un individuo de la misma edad con la misma personalidad
- b) Un individuo de la misma edad con diferente personalidad
- c) Un individuo de diferente edad con la misma personalidad
- d) Un individuo de diferente edad con diferente personalidad

La finalidad del *ítem* fue valorar las representaciones de los estudiantes en torno a los estereotipos que se trabajarían en clase. Así, el 57% encerró el inciso *a*, es decir, que el resultado de la clonación es un individuo de la misma edad con la misma personalidad y el 43% el inciso *c*, o sea, que el resultado es un individuo de diferente edad con la misma personalidad.

Lo anterior indica que la representación de los estudiantes concuerda con la representación de la clonación en la ficción cinematográfica (individuos de la misma edad con la misma personalidad). También indica que aunque algunos estudiantes identifican que la edad puede ser distinta, la personalidad es la misma.

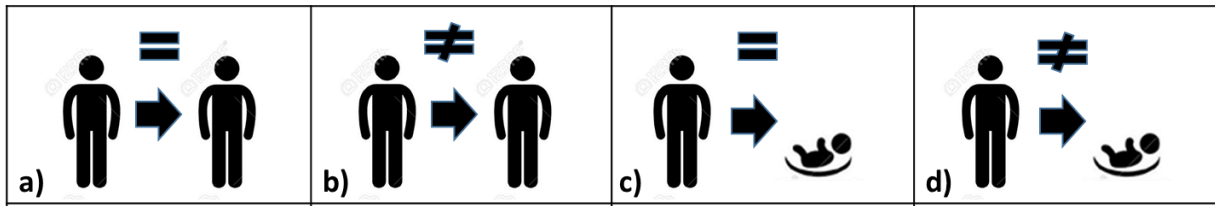
Por otra parte, en el *postest* se planteó la misma cuestión pero especificando el contexto (ciencia y cine), las preguntas se muestran a continuación:

¿Qué dibujo representa el resultado de la clonación en la ciencia?



- a) Un individuo de la misma edad con la misma personalidad
- b) Un individuo de la misma edad con diferente personalidad
- c) Un individuo de diferente edad con la misma personalidad
- d) Un individuo de diferente edad con diferente personalidad

¿Qué dibujo representa el resultado de la clonación en el cine?



- a) Un individuo de la misma edad con la misma personalidad
- b) Un individuo de la misma edad con diferente personalidad
- c) Un individuo de diferente edad con la misma personalidad
- d) Un individuo de diferente edad con diferente personalidad

Para la primera pregunta, 28% de los estudiantes eligieron el inciso *b* (un individuo de la misma edad con diferente personalidad), esto indica que la imagen prototípica de los clones como seres iguales persiste. El 14% seleccionó el inciso *c* (un individuo de diferente edad con la misma personalidad), lo cual sugiere que lograron identificar que la edad no siempre es la misma y el 57% escogió el inciso *d* (un individuo de diferente edad con diferente personalidad), o sea el correcto (Fig. 4.26), estos resultados apuntan a que más de la mitad de los estudiantes logró construir una representación acorde con la ciencia.

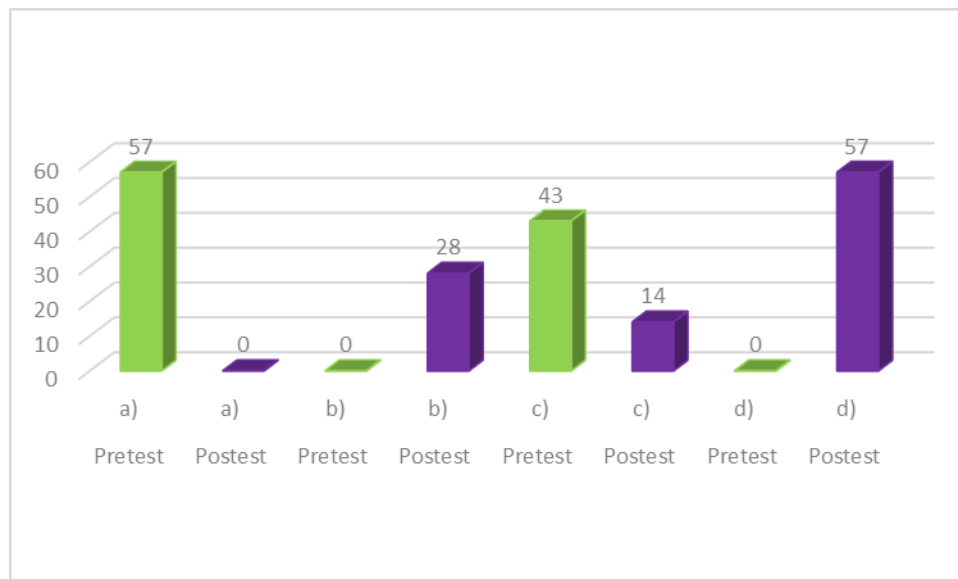


Fig. 4.26 Porcentaje de las representaciones de los estudiantes sobre la clonación en la ciencia.

En la segunda pregunta, el 100% de los estudiantes respondió correctamente al elegir el inciso *a* (un individuo de la misma edad con la misma personalidad) (Fig. 4.27). Así, todos los estudiantes lograron identificar los estereotipos de la clonación (edad y personalidad) en el cine.

En conjunto, los resultados denotan que utilizar el cine de ciencia ficción como recurso didáctico contribuye al desarrollo de espectadores capaces de diferenciar ciencia y ficción; por tanto, es un gran recurso para enseñar ciencias.

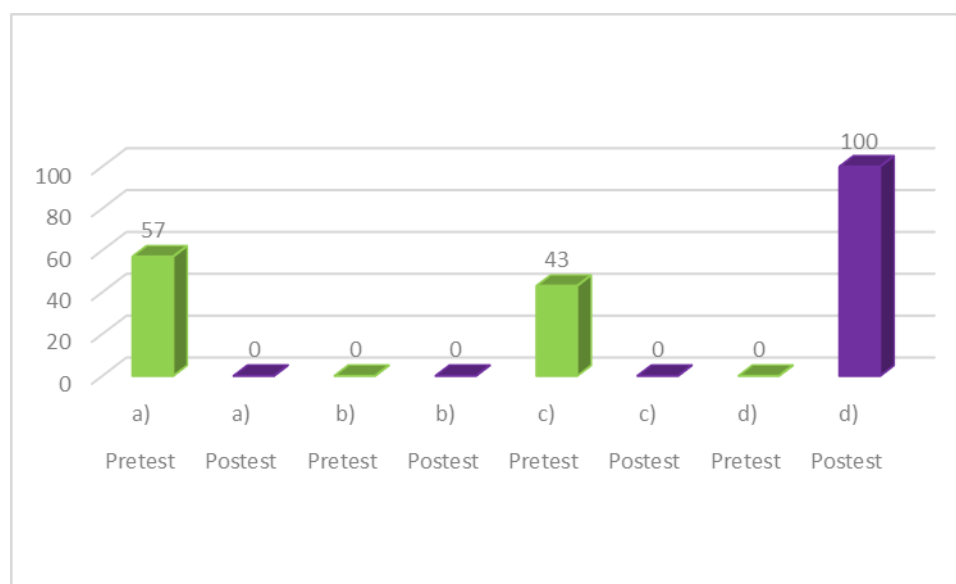


Fig. 4.27 Porcentajes de las representaciones de los estudiantes sobre la clonación en el cine.

Otra pregunta específica en el *pretest* fue sobre técnicas de clonación (escisión o gemelación artificial y transferencia nuclear de células somáticas); para ello se mostraron dibujos sobre las técnicas y se pidió a los estudiantes que nombraran la técnica que representaban. Ningún estudiante respondió.

En el *posttest* se preguntó sobre las mismas técnicas, así pues, se solicitó a los estudiantes que completaran los enunciados siguientes:

Una de las maneras más sencillas de generar animales clónicos es por _____ . Esta técnica de clonación simula la generación espontánea de gemelos.

La _____ (TNCS) consiste en transferir el _____ de una célula _____ a un _____ sin núcleo.

Las respuestas correctas son:

Una de las maneras más sencillas de generar animales clónicos es por escisión o gemelación artificial. Esta técnica de clonación simula la generación espontánea de gemelos.

La Transferencia Nuclear de Células Somáticas (TNCS) consiste en transferir el núcleo de una célula somática a un óvulo sin núcleo.

Al respecto, 17% de los estudiantes respondió correctamente el primer enunciado mientras que el segundo lo respondió bien el 86% (Fig. 4.28). Es importante señalar que se incluyó un segundo ítem sobre transferencia nuclear de células somáticas y los resultados corresponden con los obtenidos en el primer ítem.

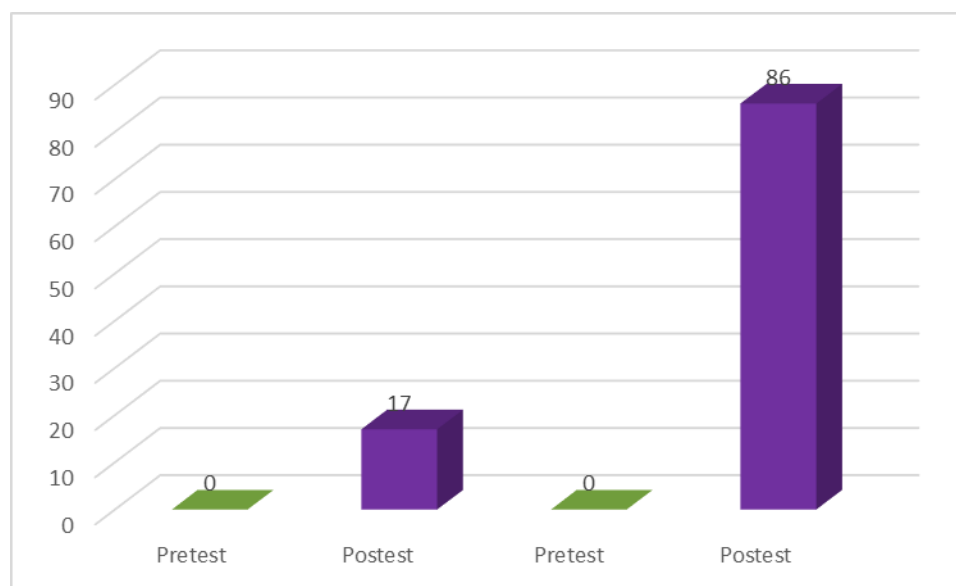


Fig. 4.28 Porcentaje de estudiantes que contestaron acertadamente las preguntas sobre las técnicas de clonación: escisión y transferencia nuclear de células somáticas en el pretest y el posttest.

Sobre las técnicas cualquier resultado significaba una ganancia porque inicialmente los estudiantes no las conocían. Además, durante la intervención se dio más prioridad a la Transferencia Nuclear de Células Somáticas y eso se reflejó en los resultados.

Sobre algunos puntos abordados en clase, se preguntó por qué los gemelos monocigóticos

se consideran clones y por qué Dolly fue tan importante en la historia de la clonación. De la primera pregunta se advirtió que la mayoría de los estudiantes justificó mejor su respuesta en la prueba que en clase; por ejemplo, una estudiante primero respondió *porque son iguales* y después *porque debido a que surgen del mismo espermatozoide y el mismo óvulo comparten la misma información genética y sus características físicas son iguales*.

De la segunda pregunta se obtuvieron algunas respuestas como las siguientes:

- *Porque fue un avance científico en el cual se pasó de clonar organismos pequeños a organismos más grandes y complejos que daban una vista de avances más grandes que podrían ser mamíferos tales como el ser humano.*
- *Porque finalmente se respondió a la siguiente interrogante: ¿se puede clonar un mamífero utilizando una célula somática (ubre) y un óvulo de la especie? Creándose a partir del proceso: TNCS y todos los resultados lograron encender la esperanza de clonar al ser humano.*

Tales respuestas revelan un proceso de reflexión que indica comprensión y uso activo del conocimiento.

Para determinar la efectividad de la intervención en conjunto, se obtuvo el promedio del *pretest* y del *postest* (Tabla 4.10).

Tabla 4.10 Promedios del pretest y posttest

Estudiante	Pretest	Posttest
1	3	7.25
2	3	7
3	3	9
4	3	7
5	3	6.5
6	3	7.5
7	4	7.5
8	3	7.5
9	2	8.5
10	2	7.5
11	3	6.5
12	2	7.5
13	3	8
14	3	5.5
15	4	9
16	2	5.75
17	2	9.5
18	2	7
19	2	5.75
20	5	6.5
21	5	9.5
Promedio	2.95	7.41

Después se utilizó el coeficiente de Hake (1998), que confronta los resultados de pruebas de conocimientos (*pretest* y *posttest*), para obtener la ganancia normalizada promedio $\langle g \rangle$ de aprendizaje definida como:

$$g = \frac{\%postest - \%pretest}{100 - \%pretest}$$

Donde $\langle g \rangle$ representa la fracción de la ganancia posible obtenida en la intervención, ya que el numerador expresa la ganancia media absoluta lograda por la instrucción, mientras que el denominador es la ganancia máxima que pudo haberse logrado.

Así, este índice permite comparar los resultados obtenidos en dichas evaluaciones con los siguientes criterios:

Ganancia alta ($>0,7$)

Ganancia media ($0.7 > g > 0.3$)

Ganancia baja (< 0.3)

El cálculo de la ganancia normalizada promedio $\langle g \rangle$ que se obtuvo fue 0.63 (Fig. 4.29).

$$g = \frac{74.1 - 29.5}{100 - 29.5}$$

$$g = \frac{44.6}{70.5}$$

$$g = 0.63$$

Fig. 4.29 Cálculo de la ganancia de Hake

Este resultado se sitúa en el intervalo $0.7 > g > 0.3$, es decir ganancia media, y a su vez se ubica muy cerca de 0.7, que indica una gran ganancia. Lo anterior demuestra que el tercer diseño de la secuencia didáctica *Clonación, clonación, clonación...* aporta a los estudiantes un progreso considerable en el aprendizaje del tema *clonación de organismos* al utilizar como estrategias de enseñanza el cine de ciencia ficción y el pensamiento crítico.

Discusión y conclusiones

En este capítulo se presenta la valoración general de cada propuesta en función del aprendizaje del tema clonación de organismos al utilizar el cine de ciencia ficción para fomentar el pensamiento crítico. Asimismo, se exponen las conclusiones de la investigación.

1. Sobre la secuencia didáctica 1

El objetivo principal del prototipo de la secuencia didáctica *Clonación... clonación... clonación...* fue idear actividades para el aprendizaje del contenido seleccionado incorporando el cine de ciencia ficción para fomentar el pensamiento crítico, así como la evaluación de las mismas, ya que ésta ofrece evidencia sobre el proceso de aprendizaje del estudiante y constituye una posibilidad de cuestionarse sobre el funcionamiento de la secuencia.

En este sentido, los resultados señalan que el prototipo de la secuencia didáctica promueve el aprendizaje del tema clonación de organismos. Se afirma lo anterior porque la evaluación integral refleja que, inicialmente, los estudiantes recurrían a sus ideas previas para explicar el tema. No obstante, conforme se desarrolló la intervención consiguieron fundamentar científicamente, en cierto grado, dichas valoraciones.

Asimismo, se encontró que el uso del cine de ciencia ficción ayuda a crear un ambiente de trabajo más relajado, además capta y mantiene la atención de los estudiantes; lo cual representó una ganancia importante ya que, recientemente, el subsecretario de Educación Media Superior de la Secretaría de Educación Pública (SEP), dio a conocer que el 49% de los estudiantes de bachillerato no ponen atención en el salón de clase (Del Valle, 2016). A pesar de haber captado su atención, los resultados muestran que a los estudiantes les cuesta trabajo recuperar las ideas de las películas y por ende, discutir las.

Del mismo modo, los resultados revelan que no basta con estructurar actividades que movilicen el pensamiento crítico, también son importantes las propias habilidades y actitudes de pensamiento del docente. Así, surge la necesidad de poner en tela de juicio si se es pensador crítico y si podemos fomentar este tipo de pensamiento; pues como señalan Páez *et al.*, (2005) cuando el docente piensa críticamente, fortalece, consecuentemente, el pensamiento crítico de sus estudiantes.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores, se considera necesario modificar algunas actividades debido a dos aspectos: por un lado, no se tomó en cuenta que gran parte de los estudiantes presentan poca apropiación de los conceptos necesarios para aprender el tema, lo cual les dificultó la resolución de las actividades; por otro, porque no se logró la interacción dialógica esperada, lo cual evidencia lo que bien señala Álvarez (2010): enseñar a través de una metodología dialógica no es algo sencillo.

2. Sobre la secuencia didáctica 2

El propósito de la segunda secuencia didáctica fue modificar las actividades propuestas en la secuencia prototipo para mejorarla e incidir en el objetivo principal, es decir, el aprendizaje del tema clonación de organismos al incorporar el cine de ciencia ficción y fomentar el pensamiento crítico.

La modificación de dichas actividades dio como resultado que en la segunda aplicación los estudiantes mostraran cierta progresión conceptual que se interpreta como aprendizaje. Si bien es cierto que desde el principio ya expresaban ideas más o menos correctas desde el punto de vista científico, la intervención les permitió ampliar sus conocimientos sobre el tema al contrastar sus ideas previas con la visión que se ofrece desde el contexto del cine de ciencia ficción.

En este aspecto, al igual que en la intervención anterior, las cintas atrajeron la atención de los estudiantes. Además, los resultados muestran que más allá de relacionar el cine con la temática de estudio se logró trabajarlo como una estrategia para provocar disonancia cognitiva y favorecer el pensamiento crítico.

Sin embargo, el hallazgo más importante fue que las películas también pueden utilizarse para que los estudiantes identifiquen sus ideas previas. Lo anterior es valioso porque, como señala Martín (2000), no sólo se trata de que el docente conozca las ideas previas de sus estudiantes para que las tenga en cuenta como punto de partida, sino que es preciso que sea el propio estudiante el que vaya haciéndose consciente de sus conocimientos para poder ir contrastándolos con las teorías científicas que se le presentan.

Por otro lado, en esta intervención se logró una aproximación inicial al fomento del pensamiento crítico a partir del diálogo; específicamente con la actividad del cine, los estudiantes practicaron habilidades como el análisis, al identificar las semejanzas y las diferencias entre el enfoque científico y cinematográfico; la evaluación, al juzgar la credibilidad de una fuente informativa como el cine; la interpretación, al diferenciar en una película la idea principal de las ideas subordinadas, entre otras.

Respecto a las disposiciones, se percibió que, como señalan Valenzuela et al., (2014) este enfoque manifiesta problemas, a nivel teórico y práctico, para explicar y desarrollar el pensamiento crítico. Así, los mismos autores proponen abordarlo desde la perspectiva de la motivación; ya que, pareciera que es mucho más prometedor intervenir educativamente, por ejemplo desde el valor de la tarea y el sentimiento de competencia frente a ella, como componentes claves de la motivación, que hacerlo desde conceptualizaciones más descriptivas o menos operativas, sin que exista una teoría que dé cuenta sobre cómo se llega a ese estado (Valenzuela et al., 2014). En este contexto, la opción es profundizar en los aspectos motivacionales del pensamiento crítico.

Del mismo modo, se encontró que en las actividades donde los estudiantes desempeñan un rol activo y/o trabajan en grupo, alcanzan mejores resultados. Lo anterior concuerda con lo reportado por Caro et al., (2003): un estudiante que se encuentra activo en las clases alcanza niveles de comprensión más profundos y duraderos que un estudiante que mantiene una actitud pasiva.

Con base en lo antes expuesto, se realizaron las mejoras necesarias para el siguiente diseño.

3. Sobre la secuencia didáctica 3

A partir de las secuencias anteriores se diseñó una tercera con la finalidad de proponer una secuencia didáctica eficaz para la enseñanza-aprendizaje del contenido clonación de organismos a través del cine de ciencia ficción y del pensamiento crítico.

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación de cada actividad y en general, ofrecen el sustento para considerar que dicha secuencia es útil para tal propósito pues se alcanzaron los principales objetivos de aprendizaje planteados: 1. Que el estudiante distinguiera entre clonación en la ciencia y clonación en la ficción cinematográfica y 2. Que el estudiante utilizara habilidades y disposiciones del pensamiento crítico.

Queda pendiente evaluar de un modo más concreto si la secuencia contribuye al tercer objetivo que plantea: que el estudiante valore la importancia de ser crítico ante la información que se le presenta; se asume que sí pero no se tienen datos contundentes.

Del mismo modo, se valoró el diseño con el coeficiente de Hake (1998), cuyo valor mínimo aceptable es 0.3 y el ideal es $>0,7$. La secuencia didáctica tuvo un valor 0.63, por lo que el diseño se encuentra en un rango que demuestra tener una buena eficacia para la enseñanza-aprendizaje del contenido ya mencionado.

Respecto al uso del cine de ciencia ficción, los resultados son consistentes con dos aspectos: la ficción resulta muy atractiva para los estudiantes y, a la vez, muy útil como recurso para la enseñanza-aprendizaje de la clonación, ya que constituye una herramienta magnífica para examinar lo plasmado por los cineastas y contrastarlo con lo aceptado científicamente. Además, como señala Moreno et al., (2009) sirve para fomentar y desarrollar un saludable espíritu crítico, pues no sólo se trata de buscar errores o aciertos científicos, sino elucubrar sobre las posibilidades de que la escena que se desarrolla en el filme pueda resultar verosímil.

Asimismo, con la intervención se consiguió que los estudiantes movilizaran algunas habilidades del pensamiento crítico; por ejemplo, emitir juicios de valor, juzgar la credibilidad de una fuente, glosar las ideas ajenas sin cambiar su sentido, buscar argumentos a favor y en contra de una postura, etcétera.

Sin embargo, aún no es claro de qué manera se puede contribuir al desarrollo de las disposiciones o/y motivaciones del pensamiento crítico. Así, se sugiere, como primer paso para fomentar el pensamiento crítico, caracterizar las habilidades y caracterizar la motivación de los estudiantes hacia tal pensamiento.

Cabe señalar que se advirtió que el papel del docente, como orientador del diálogo para desarrollar el pensamiento crítico, se fundamenta en el arte de preguntar; ya que genera un tipo de interrelación altamente productiva en el proceso de enseñanza-aprendizaje que da sentido a los hechos abordados, a los contenidos y, además a nuestra manera de comportarnos, de ser personas y de vivir con los demás (Acosta, 1998 citado por González et al., 2010; Amar, 2011). Así pues, promover el diálogo, además de exteriorizar el pensamiento, implica desarrollar habilidades sociales.

4. Conclusiones generales

Como se puede apreciar, los resultados de los tres diseños son positivos. Esto se atribuye a que al estructurar las secuencias didácticas se tomaron en cuenta las ideas previas de los estudiantes, se vincularon con la información que requería ser trabajada y se posibilitó la integración de dicha información. Asimismo, se consideraron los principios que orientan el desarrollo del pensamiento crítico; a saber, presentar actividades estructuradas, fortalecer la metacognición y facilitar la transferencia de aprendizaje. Lo cual, a su vez, permitió una adecuada incorporación del cine de ciencia ficción como recurso para fomentar tal pensamiento a través del diálogo.

A pesar de ello, los resultados indican que los estudiantes que trabajaron con el tercer diseño presentaron menos dificultades para alcanzar los objetivos propuestos, es decir, distinguir entre la clonación en la ciencia y en la ficción cinematográfica, poner en uso habilidades y disposiciones-motivaciones del pensamiento crítico y valorar la importancia de ser crítico ante la información presente en el cine. Esto se logró porque después de cada intervención se tomaron decisiones de diferente naturaleza para mejorar la puesta en práctica de lo planificado previamente.

Así, después de la aplicación de la tercera secuencia, los estudiantes identificaron, a partir de un ejemplo cotidiano como los gemelos idénticos, las características de los clones; reestructuraron su visión de la clonación como una técnica de manipulación genética que surge en el campo de la biología del desarrollo y no como un deseo de omnipotencia; fueron capaces de identificar el estereotipo de los clones en la ficción cinematográfica (individuos de la misma edad con la misma personalidad). Además, reconocieron las condiciones específicas en que los clones pueden tener la misma edad y la relación genética-ambiente para definir su personalidad. Estos logros se observaron en menor grado en la primera y segunda intervención.

De esta manera, el avance en la claridad conceptual de los estudiantes muestra la potencialidad del uso del cine de ciencia ficción para la enseñanza-aprendizaje del tema clonación de organismos cuando se orienta por una propuesta educativa que tiene sustento en el pensamiento crítico. En especial, aprovechar las posibilidades que ofrece para captar espectadores y volverlos capaces de diferenciar en la película: ciencia, ciencia posible y ciencia imposible. Desde luego que esta investigación es un primer acercamiento y muestra la necesidad de llevar a cabo otras acciones, por ejemplo, una mejor preparación de los docentes en el desarrollo del pensamiento crítico y los procesos dialógicos, con la finalidad de desarrollar mejores secuencias didácticas que contribuyan a enriquecer la cultura científica de los estudiantes de bachillerato. También es importante hacer notar que se requiere de investigaciones que precisen cómo incorporar los aspectos motivacionales del pensamiento crítico. Sin embargo, se considera que los logros alcanzados con el presente trabajo son una muestra de lo que se puede lograr cuando se une ciencia y ficción.

Perspectivas

En este trabajo se ha querido poner de manifiesto el desarrollo de una propuesta didáctica para mejorar la enseñanza-aprendizaje del tema clonación de organismos. Sin embargo, como toda propuesta, está abierta a modificarse para mejorar las experiencias educativas con los estudiantes. Al mismo tiempo, representa el desarrollo de un proceso de construcción docente. Dicho proceso implica, entre otras cosas, una postura crítica en relación con el actuar en el aula. En este sentido, se reconocen las limitaciones de la propuesta; por ejemplo, aun cuando hubo buenos resultados, en gran parte de los estudiantes prevalecen algunas deficiencias en los conceptos sostén que dificultan la construcción del concepto científico de clonación. Por ello, resulta imprescindible, antes de aplicar la secuencia, cerciorarse que los estudiantes dominan los conceptos sostén para favorecer la incorporación del concepto científico de clonación con un andamiaje sólido.

Referencias

- Abril, A., Mayoral, M., & Muela, F. (2004). Los medios de comunicación social y la didáctica de la Genética y la Biología Molecular en E.S.O. En *La nueva alfabetización: un reto para la educación del siglo XXI* (pp. 367-368). Madrid: Ed. Centro de Enseñanza Superior en Humanidades y Ciencias de la Educación “Don Bosco”.
- Abril, A., & Muela, F. (2013). La genética en el cine y los obstáculos para su aprendizaje formal. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, Núm. Extra, 2441-2446.
- Abril, A., & Muela, F. (2015). Significados sobre genética transmitidos por el cine y la educación formal. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 29, 195-214.
- Acosta, C. (2002). Efectos del diálogo socrático sobre el pensamiento crítico en estudiantes universitarios. *Psicología desde el Caribe*, 10, 1-26.
- Ahumada, P. (2005). *Hacia Una Evaluación Auténtica del Aprendizaje*. México: Huidos Educador.
- Álvarez, C. (2010). El diálogo en el aula para la educación de la ciudadanía. *Revista de Investigación en la Escuela*, 71, 51-62.
- Amar, V. (2011). El diálogo en la motivación y logros en la educación virtual. En Roig, R. & Laneve, C. (Coords.), *La práctica educativa en la sociedad de la información: Innovación a través de la investigación* (pp. 47-56). España: Editorial Marfil.
- Andrioli, N., & Mudry, M. (2005). Proyecto de investigación escolar: La genotoxicidad en los currículos del ciclo de enseñanza media y superior. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 45, 55-60.
- Ayuso, E., & Banet, E. (2002). Conceptos de la herencia Biológica en el aprendizaje de la evolución. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 9(32), 39-47.
- Ayuso, E., Banet, E., & Abellán, T. (1996). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato II. ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 127-142.
- Aznar, V. (2000). ¿Qué sabemos sobre biotecnología? *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7(25), 9-14.

- Ball, P. (2012). *Contra natura: sobre la idea de fabricar seres vivos*. Madrid: Turner Publicaciones.
- Banet, E., & Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 137–153.
- Banet, E., & Ayuso, E. (1998). La herencia biológica en la educación secundaria: Reflexiones sobre los programas y estrategias de enseñanza. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 5(16), 79-84.
- 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.
- Barceló, M. (2005). Ciencia y ciencia ficción. *Revista Digital Universitaria*, 6(7), 1-10.
- Barceló, M. (2008). *La ciencia ficción*. Barcelona: UOC.
- Berger, K. (2007). *Psicología del desarrollo: infancia y adolescencia*. Madrid: Médica Panamericana.
- Bernal, L., Forero, G., & Montero, R. (2012). Propuesta didáctica de organización de contenidos para la enseñanza de la genética en educación superior a distancia. *Revista de Investigaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia*, 11(2), 115-136.
- Bixler, A. (2007). Teaching Evolution with the aid of science fiction. *The American Biology Teacher*, 69(6), 337-340.
- Boisvert, J. (2004). *La formación del pensamiento crítico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Boude O., & Celis, L. (2007). Nuevas tecnologías aplicadas a la educación: una experiencia en la enseñanza de la genética. *Educación y Educadores*, 10(2), 165-173.
- Bugallo, A. (1995). La Didáctica de la Genética: Revisión Bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 379-385.
- Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227–244.
- Campos, A. (2007). *Pensamiento crítico: Técnicas para su desarrollo*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Caro, S., & Reyes, J. (2003). Practicas docentes que promueven el aprendizaje activo en ingeniería civil. *Revista de Ingeniería*, 18, 48-55.
- Carter, C., Bishop, J., & Lyman, S. (2006). *Orientación educativa: Cómo alcanzar tus metas*. México: Pearson.

- Causado, R., Santos, B. & Calderón, I. (2015). Desarrollo del pensamiento crítico en el área de Ciencias Naturales en una escuela de secundaria. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 4 (2), 17–42.
- Cavanaugh, T., & Cavanaugh, M. (2004). *Teaching Science with Science Fiction Films*. Estados Unidos: Linworth Publishing Inc.
- Chapela, A. (2014). Entre ficción y ciencia: El uso de la narrativa en la enseñanza de la ciencia. *Educación Química*, 25(1), 2-6.
- Chavarría, S., Bermúdez, T., Villalobos, N., & Morera, B. (2012). El modelo Bandler-Grindler de aprendizaje y la enseñanza de genética mendeliana en estudiantes costarricenses de décimo año. *Cuadernos de Investigación de la Universidad Estatal a Distancia*, 4(2), 213-221.
- Codina, J. (2005). Aprendiendo genética con Spiderman. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 45, 111-116.
- Corbacho, V. & De, P. (2009). Enseñanza de la genética en la educación de nivel superior: dificultades para comprender conceptos y resolver problemas. Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, 1020-1023.
- Del Valle, S. (2016). *No pone atención en clase 49% de alumnos en bachillerato*. El Diario. Recuperado de <http://diario.mx>
- Derjani, S., & Olivera, C. (2009). *Ciencia Ficción en la Enseñanza de la Ingeniería Química*. I Congreso Iberoamericano de Enseñanza de la Ingeniería.
- Díaz, A. (2013). *Guía para la elaboración de una secuencia didáctica*. UNAM.
- Domènech, J., Besson, I., Merlo, M., Puigcerver, M., & Solé, M. (2012). Genes, memes y bits: el cómo y el porqué de cinco recursos web sobre genética. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 43-58.
- Domínguez, H & Carillo, R. (2006). *Comprensión y desarrollo del pensamiento*. Recuperado de <http://portalacademico.cch.unam.mx>
- Eggen D., & Kauchak D. (2015). *Estrategias docentes. Enseñanza de contenidos y desarrollo de habilidades del pensamiento*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Ennis, R. (2015). Critical thinking: A streamlined conception (A revised version of 1991b, below). En Davies, Martin and Ronald Barnett (Eds.). *A handbook of critical thinking in higher education* (pp. 31-47). New York: Palgrave Macmillan.

- Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. (2016). *Programas de Estudio. Área de Ciencias Experimentales. Biología I-II*. [Documento en línea]. Recuperado de: <http://www.cch.unam.mx>
- Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. (2013). *Comisión especial para la actualización de los programas de Biología I y Biología II. Propuesta*. [Documento en línea]. Recuperado de: <http://www.cch.unam.mx>
- Figini, E., & De Micheli, A. (2005). *La enseñanza de la genética en el nivel medio y la educación polimodal: contenidos conceptuales en las actividades de los libros de texto*. Enseñanza de las Ciencias, número extra. VII Congreso.
- García, F. (2006). Cuando los mundos chocan. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencias*, 3(2), 268-286.
- García, F. (2008). Bienvenido mister cine a la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 79-91.
- García, J., Quinto, P., & Martínez, J. (2015). Comprensión del modelo hereditario de Mendel tras la enseñanza habitual en alumnos de educación secundaria obligatoria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 29, 275-299.
- Gómez, A., Hellín, P., & San Nicolás, C. (2011). La representación de la clonación en la ficción cinematográfica. Una aproximación metodológica para un análisis del discurso científico en el cine. *Palabra Clave*, 14, 216-234.
- González, G. & Márquez, M. (2010). Efectos del diálogo socrático sobre el pensamiento crítico en estudiantes de un programa técnico profesional. *Revista Educación en Ingeniería*, 10, 1-11.
- Grilli, J. (2016). Cine de ciencia ficción y enseñanza de las ciencias. Dos escuelas paralelas que deben encontrarse en las aulas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 137-148.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Hernández, J. (2006). Construir una identidad. Vida juvenil y estudio en el CCH Sur. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(29), 459-481.
- Herráez, A. (2012). *Texto ilustrado de biología molecular e ingeniería genética*. Madrid: Elsevier.
- Íñiguez, F., & Puigcerver, M. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(3), 307-327.

- Jiménez, M., Bugallo, A., & Duschl, R. (2000). "Doing the lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84, 757-792.
- Kind, A., & Schnieke, A. (2008). *Clonación de mamíferos: algo más que una simple oveja*. En Fronteras del Conocimiento. Madrid: BBVA.
- Klotzko, A. (2006). *¿Quieres clonarte? Ciencia y ética de la clonación humana*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Lacolla, L. (2005). Representaciones sociales: una manera de entender las ideas de nuestros alumnos. *Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa*, [en línea] 1(3). Recuperado de: <http://revista.iered.org>
- Martín, E. (2000). ¿Puede ayudar la teoría del cambio conceptual a los docentes? *Tarbiya, Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 26, 31-51.
- Martínez, M. (2003). Análisis del contenido de genética en textos de educación no universitaria. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 17(1), 207-208.
- Martínez, M., & Ibáñez, M. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 193-206.
- McLaren, A. (2003). *Clonación*. Madrid: Editorial Complutense.
- Meseguer, J. (2016). *Pensamiento crítico: una actitud*. España: UNIR.
- Molina, M. (2006). *Desarrollo de pensamiento relacional y comprensión del signo igual por alumnos de tercero de educación primaria*. Tesis doctoral. Granada: Departamento de Didáctica de la Matemática, Universidad de Granada.
- Molina, M., Castro, E., Molina, J., & Castro, E. (2011). Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 29(1), 75-88.
- Montoliu, L. (2004). Clonación en mamíferos: aspectos científicos e implicaciones terapéuticas. En *Últimas investigaciones en biología: células madre y células embrionarias*. Madrid: Secretaría General Técnica.
- Morcillo, G., Cortés, E., & García, J. (2013). *Biotecnología y alimentación*. España: UNED.
- Moreno M., & Jordi, J. (2009). Superhéroes y gravedad: el valor pedagógico de la ficción. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 60, 43-53.
- Newton, D. (2015). *Cloning: A reference handbook*. Estados Unidos: ABC-CLIO.

- Páez, H., Arreaza, E., & Willdea, V. (2005). Educar para pensar críticamente: una visión desde el área curricular Estudios Sociales de Educación Básica. *Revista de Teoría y Didáctica de las Ciencias Sociales*, 10, 237-263.
- Palacios, S. (2007). El cine y la literatura de ciencia ficción como herramientas didácticas en la enseñanza de la física: una experiencia en el aula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 106-122.
- Palma, G. (2001). *Biotecnología de la reproducción*. Argentina: Universidad Técnica de Machala.
- Perkins, D, Jay, E. & Tishman, S. (1993). Beyond abilities: A dispositional theory of thinking. *The Merrill-Palmer Quarterly*, 39(1), 1-21.
- Pierce, (2010). *Genética: un enfoque conceptual*. Madrid: Médica Panamericana.
- Rodríguez, R. (2014). *Televisión, televisoras y crisis educativa en México*. Campus Milenio Núm. 542. Recuperado de <https://www.ses.unam.mx>
- Rodríguez, R., Castañeda, A., & Ordáz, M. (2016). *Conceptos básicos de genética*. Ciudad de México: UNAM.
- Romero, M. (2014). Uniendo investigación, política y práctica educativas: DBR, desafíos y oportunidades. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 7(14), 159-176.
- Sadler, T., & Zeidler, D. (2003). The morality of socioscientific issues: Construal and resolution of genetic engineering dilemmas. *Science Education*, 88(1), 4-27.
- Sadler, T., & Zeidler, D. (2005). The significance of content knowledge for informal reasoning regarding socioscientific issues: Applying genetics knowledge to genetic engineering issues. *Science Education*, 89(1), 71-93.
- San Valero, C. (1995). El proyecto Genoma Humano, sus implicaciones sociales y la Biología de bachillerato. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3, 109-115.
- Shitu, J., & Benvenuto, O. (2012). El uso del cine de ciencia ficción para el planteo de problemas abiertos y como investigación. *Revista de Enseñanza de la Física*, 25(1-2), 89-108.
- Tosi, V. (1993). *El cine antes de Lumière*. México: UNAM.
- Valenzuela, J., Nieto, A., & Muñoz, C. (2014). Motivación y disposiciones: enfoques alternativos para explicar el desempeño de habilidades de pensamiento crítico. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 16(3), 16-32.
- Velarde, F. (2004). La clonación: fundamentos teóricos y aplicaciones. *Boletín Médico*, 3(1), 10-14.

- Wolpert, L., Jessell, T., Laurence, P., Meyerowitz, E., Robertson, E., & Smith, J. (2010). *Principios del desarrollo*. Madrid: Médica Panamericana.
- Wood-Robinson, C., Lewis, J., Leach, J., & Driver, R. (1998). Genética y formación científica: Resultados de un proyecto de investigación y sus implicaciones sobre los programas escolares y la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 43-61.
- Wood-Robinson, C., Lewis, J., & Leach, J. (2000). Young people's understanding of the nature of genetic information in the cells of an organism. *Journal of Biological Education*, 35(1), 29-36.
- Zohar, A. (2006). El pensamiento de orden superior en las clases de ciencias: objetivos, medios y resultados de investigación. *Enseñanza de las ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 24(2), 157-172.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Student's knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 35-43.