



**Universidad de Concepción
Campus Los Ángeles
Escuela de Educación**

**Integración de recursos didácticos de impresión 3d para
la enseñanza de cromosomas y división celular en
estudiantes de segundo año medio de un establecimiento
de la comuna de Los Ángeles**

**Seminario de Título para optar al Título Profesional
Profesor Ciencias Naturales y Biología**

Seminaristas: Erwin Vicente Gutiérrez Obreque
Docente Guía: Mg. Nicza Fernanda Alveal Riquelme

Los Ángeles, 2024



Universidad de Concepción
Campus Los Ángeles
Escuela de Educación

**Integración de recursos didácticos de impresión 3d para
la enseñanza de cromosomas y división celular en
estudiantes de segundo año medio de un establecimiento
de la comuna de Los Ángeles**

Seminario de Título para optar al Título Profesional
Profesor Ciencias Naturales y Biología

Seminaristas: Erwin Vicente Gutiérrez Obrequé
Docente Guía: Mg. Nicza Fernanda Alveal Riquelme
Comisión Mg Fabián Enrique Cifuentes Rebolledo
Evaluadora:

Los Mg. Alexis Eduardo Almendras Valdebenito

Ángeles, 2024

Declaración de autenticidad

Aquí el o los autores de este trabajo de titulación denominado **“Integración de recursos didácticos de impresión 3d para la enseñanza de cromosomas y división celular en estudiantes de segundo año medio de un establecimiento de la comuna de Los Ángeles”** dan y/o damos fe y, por lo tanto, aseguro o aseguramos que lo aquí presentado es el resultado de mi o nuestro trabajo original y no corresponde a una copia o plagio de actividades realizadas previamente por otras personas.

Así mismo, aquí certifico o certificamos que este trabajo no contiene material y/o información que hayan sido aceptadas bajo mi o nuestros nombres en otra institución de educación superior para obtener un título de pregrado y/o postgrado.

Este trabajo no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona, excepto donde se utiliza material bibliográfico y que son destacadas a través de las referencias citadas en el texto y posteriormente detalladas en la bibliografía.



Erwin Vicente Gutiérrez Obreque

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
PROPUESTA DE INVESTIGACION	10
Pregunta de investigación.....	10
Objeto de estudio.....	10
Objetivos de investigación	Error! Bookmark not defined.
<i>Objetivo general</i>	11
<i>Objetivos específicos</i>	11
Hipótesis.....	12
MARCO REFERENCIAL	13
DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
Enfoque y método de la investigación.....	23
Diseño	23
Unidad temporal.....	23
Alcance de la investigación.....	23
Tipo de muestreo	23
Población.....	24
Muestra	24
Criterio de selección de muestra	24
Unidad de análisis	24
Variables	25
Técnicas de recolección de datos.....	25
Análisis de datos.....	28
Análisis datos Cuestionario de Conocimientos:.....	28
1. Análisis de las respuestas del test Actitudinal:	29
2. Análisis estadístico:.....	30
3. Análisis Cualitativo Adicional.....	30
RESULTADOS.....	32
DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción general de la intervención metodológica.....	26
Tabla 2. Categorización de puntajes por nivel de conocimiento.	29
Tabla 3. Categorización de puntajes según actitudes.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelado por deposición fundida (FMD)	18
Figura 2. Gráfico de cajas de dispersión de puntajes del pretest.	33
Figura 3. Gráfico de resultados del pretest en grupo control y experimental dividido en cinco niveles de conocimientos.	34
Figura 4. Gráfico de cajas de dispersión de puntajes postest.	34
Figura 5. Gráfico de resultados de postest en grupo control y experimental dividido en cinco niveles de conocimientos.	35
Figura 6. Gráfico de porcentaje de acierto de preguntas según dimensión para grupos control y experimental en pretest y postest.....	36
Figura 7. Gráfico de cuestionario actitudinal según el porcentaje de alumnos y nivel de interés en los temas de cromosoma y división celular junto al uso de modelos 3D.....	37
Figura 8. Gráfico de respuestas de cuestionario actitudinal según su número de respuestas y dimensión.	38

RESUMEN

Tradicionalmente, la enseñanza de ciencias ha seguido un modelo de transmisión de contenido, aunque se busca migrar a hacia un enfoque constructivista dada la complejidad que presentan sus temas, en especial aquellos de biología celular, genética y biología molecular, debido a su naturaleza microscópica, así como la presencia de errores conceptuales que pueden obstaculizar el aprendizaje, por lo que se requiere hacer más partícipe del proceso de enseñanza aprendizaje al alumno. Los modelos didácticos impresos en 3D pueden ayudar a los estudiantes a visualizar y entender mejor los temas complejos como la estructura celular y organización del material genético, facilitando la comprensión de estos conceptos abstractos, trayendo así al aula otro tipo de apoyo que permita a los alumnos participar activamente en la construcción de su aprendizaje.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de los modelos didácticos impresos en 3D como apoyo educativo en el nivel de conocimientos y actitudes sobre la temática de cromosomas y división celular en estudiantes de segundo año medio en un establecimiento de la comuna de Los Ángeles. La investigación se plantea con un enfoque mixto con un diseño de investigación de tipo cuasiexperimental. Los resultados obtenidos señalan que la utilización de modelos didácticos tiene un efecto significativo favorable en la adquisición de conocimientos en los alumnos participantes, adicionalmente reportando una positiva valoración del uso de este material de apoyo para su aprendizaje y motivación en el aula, lo que señala el valor de esta tecnología para mejorar la enseñanza de ciencias naturales.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias, Impresión 3D, Modelo didáctico, Cromosomas, División celular.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objetivo de la enseñanza de las ciencias naturales y la labor docente en Chile es lograr la alfabetización científica de los estudiantes. Esto implica que los alumnos de todo el país adquieran las habilidades necesarias para utilizar el conocimiento científico en la identificación y resolución activa de los problemas del entorno natural que los rodea, desde una perspectiva científicamente informada. De esta manera, podrán contribuir en la toma de decisiones y acciones que mejoren el bienestar de la sociedad (MINEDUC, 2012).

La enseñanza de las ciencias naturales a menudo sigue un modelo de transmisión y recepción de información, en el cual el estudiante actúa como un receptor pasivo que acumula conocimientos, mientras que el docente es la autoridad científica que dicta lo que se debe aprender, aunque este enfoque ha sido progresivamente reemplazado por un modelo constructivista que toma en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes, sigue siendo común en la enseñanza de las ciencias (Ruiz Ortega, 2007). Por ello el MINEDUC propone ciertas orientaciones didácticas sobre la enseñanza de ciencias, con un mayor énfasis en el aprendizaje de habilidades de investigación científica e indagación. Dentro de estas orientaciones didácticas se expone la importancia del uso de Tecnologías de la Información (Tic's) tanto como habilidad en los estudiantes o como apoyo para el aprendizaje (MINEDUC, 2016).

En la enseñanza de las ciencias biológicas a nivel de enseñanza media, los contenidos de biología celular, genética y biología molecular comienzan a tener un alto nivel de abstracción por su naturaleza microscópica, lo que representa un desafío para el aprendizaje del alumnado (Mendoza-Álvarez, 2018). La biología molecular, en particular, requiere una gran capacidad de abstracción para visualizar y comprender la caracterización y funcionamiento de las estructuras biológicas microscópicas. Así como la presencia múltiples concepciones alternativas en los alumnos (Íñiguez Porras y Puigcerver Oliván, 2013), que dificultan el aprendizaje de no corregirse, obstaculizando su comprensión de las ideas científicas e incapacitando su uso para dar explicaciones del mundo que los rodea (Mendoza-Álvarez, 2018; Padilla, 2023).

Para abordar estos desafíos, la impresión 3D (tridimensional) emerge como una tecnología prometedora que ha ganado accesibilidad y versatilidad desde la década de 2010, con aplicaciones en diversas áreas como ingeniería, arquitectura, medicina y educación. Centrándose en este último la impresión en 3D permite a los alumnos formar parte del proceso de diseño hasta la creación de modelos tridimensionales que ayuden al proceso de enseñanza aprendizaje incrementando la interacción de los alumnos con los modelos didácticos creados, facilitando la comprensión de conceptos abstractos, aumentando la motivación por el aprendizaje, además se plantea que esta tecnología podría reorientar la enseñanza al desarrollar competencias en áreas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática por sus siglas en inglés) y la cultura Maker que celebra el emprendimiento, la creatividad, cooperación y el hacer por uno mismo (Nemorin y Selwyn, 2017).

La impresión de modelos en 3D para su uso en clases de biología permite abordar diferentes temas, ya sea el modelado de la estructura celular, genética mendeliana, evolución y dinámica de poblaciones, estructura del ADN, entre muchos otros ejemplos donde la principal ventaja radica en que al contrario que la proyección de imágenes o videos en ordenadores, permite a los estudiantes ver e interactuar con los modelos didácticos, disminuyendo el nivel de esfuerzo de abstracción que deben realizar para comprender los temas complejos impartidos en dichas áreas (Mendoza-Álvarez, 2018).

El presente trabajo pretende abordar algunos temas de la unidad número 3 "Genética" del eje de biología de segundo año medio (MINEDUC, 2016). Los temas que se esperan tratar son principalmente en el área de genética y biología molecular, como lo son los niveles de organización (bases nitrogenadas, nucleótidos, alelo, gen, cromosoma, ADN, gametos), procesos de meiosis (crossing over) y mitosis, ya que presentan un alto grado de abstracción (Diez de Tancredi y Caballero, 2004). Según se ha identificado los estudiantes presentan grandes dificultades en estas temáticas (Mills Shaw et al., 2008), lo que ofrece la oportunidad de desarrollar nuevas técnicas y recursos para el aprendizaje y enseñanza de dichas temáticas.

PROPUESTA DE INVESTIGACION

Preguntas de investigación

¿Cómo afecta la implementación de modelos de impresión 3D en el aprendizaje de conceptos relacionados con cromosomas y división celular en estudiantes de segundo año medio de un establecimiento de la comuna de Los Ángeles?

¿Qué influencia tiene el uso de modelos de impresión 3D en las actitudes de los estudiantes de segundo año medio hacia el aprendizaje de cromosomas y división celular en un establecimiento de la comuna de Los Ángeles?

Objeto de estudio

Efecto de los modelos impresos en 3D como herramienta educativa en el nivel de conocimientos y actitudes sobre cromosomas y división celular en estudiantes de segundo año medio en un establecimiento de la comuna de Los Ángeles.

Objetivo general

- Evaluar el efecto de los modelos didácticos impresos en 3D en el nivel de conocimientos y actitudes sobre cromosomas y división celular en estudiantes de segundo año medio en un establecimiento de la comuna de Los Ángeles.

Objetivos específicos

- Diseñar una propuesta pedagógica con recursos educativos de impresión 3D para enseñar los conceptos de cromosomas y división celular.
- Implementar sesiones educativas basadas en la propuesta pedagógica y utilizando modelos impresos en 3D para enseñar sobre cromosomas y división celular a estudiantes de segundo año medio.
- Comparar el nivel de conocimientos sobre cromosomas y división celular entre grupos de estudiantes (control-experimental) de segundo año medio después de la implementación de modelos didácticos impresos en 3D en su enseñanza.
- Analizar el nivel de actitudes de los estudiantes de segundo año medio después de la implementación de modelos didácticos impresos en 3D para la enseñanza de cromosomas y división celular.

Hipótesis

- H_1 : Los estudiantes de 2° año medio que reciban el apoyo de material didáctico impreso en 3D para abordar los temas de la unidad 3 de biología “Genética”, tendrán una mayor apropiación de los contenidos.
- H_{01} : Los estudiantes de 2° año medio que reciban el apoyo de material didáctico impreso en 3D para abordar los temas de la unidad 3 de biología “Genética”, no mostrarán una mayor apropiación de los contenidos.
- H_2 : Los estudiantes de 2° año medio que reciban el apoyo de material didáctico impreso en 3D para abordar los temas de la unidad 3 de biología “Genética”, tendrán actitudes positivas hacia el aprendizaje de los conceptos de cromosomas y división celular.
- H_{02} : Los estudiantes de 2° año medio que reciban el apoyo de material didáctico impreso en 3D para abordar los temas de la unidad 3 de biología “Genética”, no mostrarán actitudes positivas hacia el aprendizaje de los conceptos de cromosomas y división celular.

MARCO REFERENCIAL

Enseñanza de las Ciencias Naturales

La labor docente en Chile tiene como objetivo la alfabetización científica de los estudiantes. Esto implica que los alumnos desarrollen las capacidades necesarias para aplicar el conocimiento científico al identificar y resolver activamente los problemas del mundo natural que les rodea. Desde una perspectiva informada científicamente, se espera que los estudiantes contribuyan a la toma de decisiones y acciones que mejoren el bienestar de la sociedad (MINEDUC, 2012).

Tradicionalmente, las ciencias naturales se han enseñado bajo un modelo de transmisión y recepción de información. En este enfoque, el alumno es un receptor pasivo que acumula conocimientos, mientras que el docente es la voz de la ciencia que explica lo que se debe aprender (Ruiz Ortega, 2007). Aunque este modelo ha evolucionado hacia uno principalmente constructivista, que considera los saberes previos de los alumnos, en el ámbito de las ciencias aún prevalece.

En la educación de las ciencias biológicas en el nivel medio, surge una dificultad fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje, los conceptos relacionados con la biología celular, la genética y la biología molecular adquieren un alto grado de abstracción debido a su naturaleza microscópica. Esto plantea un desafío significativo para el aprendizaje de los estudiantes (Mendoza-Álvarez, 2018). En la biología molecular, enfrentamos un desafío importante, la necesidad de abstracción para comprender las estructuras biológicas microscópicas y su funcionamiento. Un problema recurrente es que, aunque los alumnos pueden definir correctamente un cromosoma, cuando se les pide una representación gráfica, lo ubican dentro de la cadena de ADN. Este error conceptual dificulta la comprensión de las relaciones entre los componentes genéticos y su papel en el metabolismo del ADN en temarios más avanzados (Flores Camacho et al., 2017).

Otra de las principales dificultades en la enseñanza de las ciencias es la existencia de múltiples concepciones alternativas en los alumnos, que son la base para la enseñanza y aprendizaje significativo, pero cuando estas ideas perduran o se desvían del conocimiento

científico formal, son concepciones alternativas que dificultan la posterior adquisición de nuevos conocimientos dentro de la temática (Mendoza-Álvarez, 2018; Padilla, 2023). Según Íñiguez Porras y Puigcerver Oliván (2013) entre las concepciones más comunes que se encuentran presentes en el área de genética son:

1. No todos los seres vivos están formados por células.
2. No todos los seres vivos tienen genes y cromosomas.
3. Existe la creencia de que algunos organismos pueden tener cromosomas, pero no genes, lo que evidencia la confusión y el desconocimiento de dichas estructuras.
4. La información hereditaria sólo se encuentra en las células sexuales.
5. Cada célula posee la información genética necesaria para su propia función.
6. Los cromosomas sexuales sólo se encuentran en los gametos.
7. El ambiente puede influir en la aparición de un determinado carácter hasta el punto de considerar algunos alumnos que los factores ambientales tienen más influencia que los hereditarios.
8. Los alumnos no identifican ni relacionan correctamente la estructura y la función de los cromosomas.
9. No relacionan la estructura del material hereditario: genes, cromosomas y ADN.
10. La meiosis supone una importante dificultad durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de la herencia biológica y los estudiantes no la relacionan con el proceso de formación de gametos ni con la resolución de problemas de genética.
11. Existen dificultades en relacionar el material hereditario con la síntesis de proteínas y con la expresión de la información genética.

La persistencia de estas ideas erróneas en el alumnado dificulta la adquisición y de nuevo conocimiento científico, así como la aplicación del ya poseído, por ello es necesario identificarlas y buscar metodologías innovadoras que mitiguen o corrijan estas concepciones.

La genética es una materia intrincada que se basa en la comprensión profunda de la estructura y el comportamiento molecular de los cromosomas, y muchos estudiantes tienen dificultades con esta materia necesaria para comprender los conceptos relacionados con la división celular y la meiosis, que son cruciales para una comprensión clara de numerosas facetas de la vida, incluidas la reproducción, la biología celular, la genética y la evolución,

pero poco ha cambiado en la forma en que se enseñan estos temas y la comprensión no ha mejorado (Newman et al., 2012).

Cromosoma y división celular en el currículum nacional

La unidad tres de segundo año medio del Currículum Nacional “Genética” pretende que los estudiantes comprendan que el material genético se transmite de generación en generación durante la división celular reconociendo las diferencias entre divisiones mitóticas y meióticas. También busca que logren asociar la proliferación celular con el crecimiento, desarrollo, reparación de lesiones y regeneración de tejidos con la división celular, y por otro lado a los procesos meióticos con la producción de células sexuales o gametos. Por último, se aborda la herencia genética a partir de los principios de Mendel, contribuyendo en su conjunto al desarrollo de habilidades científicas, y la adquisición de grandes ideas de la ciencia como que la información genética se transmite de una generación de organismos a la siguiente (GI 3) o que todo material del Universo está compuesto de partículas muy pequeñas (GI 5) (MINEDUC, 2016).

Objetivos de la unidad (MINEDUC, 2016):

OA 6 Investigar y argumentar, basándose en evidencias, que el material genético se transmite de generación en generación en organismos como plantas y animales, considerando:

- La comparación de la mitosis y la meiosis.
- Las causas y consecuencias de anomalías y pérdida de control de la división celular (tumor, cáncer, trisomía, entre otros).

OA 7 Desarrollar una explicación científica, basada en evidencias, sobre los procesos de herencia genética en plantas y animales, aplicando los principios básicos de la herencia propuestos por Mendel.

Estrategias y Recursos en la Enseñanza de las Ciencias

Para la enseñanza de las ciencias naturales, las estrategias más comunes incluyen la exposición oral, el intercambio de preguntas, el trabajo cooperativo, el aprendizaje basado en problemas (ABP) y el aprendizaje basado en proyectos (ABPj). Según Ortiz (2009), estas metodologías fomentan una comprensión profunda y la aplicación práctica del conocimiento, mejorando significativamente el rendimiento de los estudiantes en ciencias naturales.

Un estudio de Suárez-Ramos (2017) demostró que el uso de recursos visuales, como ilustraciones y modelos didácticos, mejora la comprensión de conceptos como cromosomas y división celular, permitiendo a los estudiantes retener y aplicar mejor la información en contextos prácticos.

La enseñanza de conceptos complejos, como la división celular, presenta desafíos específicos debido a la dinámica y complejidad del proceso. Brown (2015) encontró que el uso de fotografías, películas, videos y modelos didácticos facilita la comprensión de los movimientos de los cromosomas y los eventos asociados a la división celular, mejorando la comprensión de los estudiantes sobre este tema.

En el contexto de los recursos didácticos, aquellos que ofrecen estímulos visuales son particularmente útiles en la enseñanza de las ciencias biológicas. Herramientas como ilustraciones esquemáticas, modelos didácticos, mapas conceptuales y mentales, así como esquemas, son efectivas para representar conceptos complejos de manera comprensible y atractiva (Suárez-Ramos, 2017). Estos recursos facilitan la visualización de estructuras y procesos biológicos, contribuyendo a una mejor retención de la información y al desarrollo de habilidades de razonamiento espacial.

La importancia de los materiales didácticos radica en su capacidad para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Según Morales (2012), los materiales didácticos, tanto físicos como virtuales, deben despertar el interés de los estudiantes, adaptarse a sus características físicas y psíquicas, y servir de guía para la actividad docente. Estos materiales permiten un contacto directo con el objeto de aprendizaje o, al menos, simulan esta experiencia.

Dentro de los materiales didácticos, las maquetas o modelos tridimensionales juegan un papel importante. Estas reproducciones físicas "a escala" de objetos reales o ficticios son útiles para la enseñanza de la lectura, interpretación y realización de conceptos. Morales (2012) destaca que las maquetas facilitan la comprensión de características constructivas y operaciones necesarias para pasar de la representación a la realidad, ayudando a superar las dificultades que algunos estudiantes enfrentan al interpretar lenguajes y códigos gráficos.

Además, el material didáctico favorece el proceso de aprendizaje al ofrecer una interacción práctica y lúdica con elementos reales. Esto estimula el interés por aprender, y promueve el desarrollo de la memoria, la motricidad fina y gruesa, y aspectos cognitivos y físicos fundamentales en la evolución del estudiante (Manrique y Gallego, 2012).

Integración de Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Enseñanza de las ciencias.

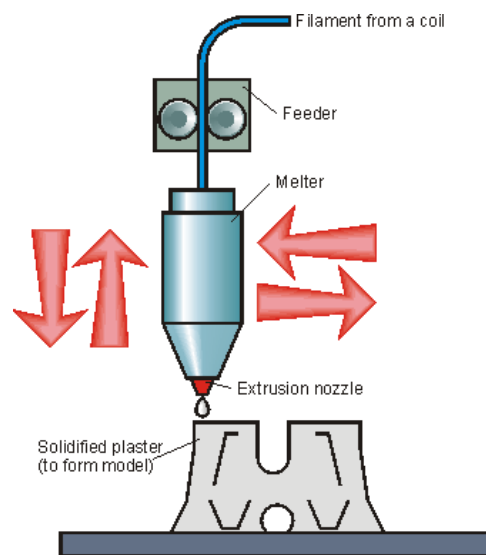
Las Tecnologías de la Información y Comunicación (Tic's) han transformado la educación al ofrecer herramientas tecnológicas que facilitan un aprendizaje significativo y dinámico. Estas tecnologías han superado los métodos tradicionales, creando nuevos modelos de comunicación y espacios para la formación, reflexión y debate, y promoviendo un aprendizaje más interactivo y personalizado (Ayala, s.f.).

La impresión 3D es una tecnología que permite la elaboración de objetos tridimensionales a partir de diseños digitales. Su desarrollo comenzó en 1984 con la invención de la estereolitografía por Chuck Hull, quien utilizó láseres de rayos ultravioleta para endurecer capas de fotopolímero de resina y creó el formato de archivo STL, esencial para la impresión 3D actual. En 1987, Carl Deckard introdujo la síntesis selectiva por láser (SLS), que emplea láseres para curar polímeros en polvo. Más tarde, en 1989, S. Scott y Lisa Crump desarrollaron el modelado por deposición fundida (FDM), un método accesible que utiliza filamentos termoplásticos extruidos en capas horizontales para formar objetos tridimensionales.

Desde sus inicios en el prototipado rápido, la impresión 3D ha evolucionado significativamente, convirtiéndose en una herramienta accesible y versátil, siendo el método FDM el más común en la actualidad. Este método utiliza filamentos termoplásticos que se depositan en capas y se enfrían naturalmente, sin necesidad de tratamientos adicionales, *Figura 1* (Ochoa Guevara, 2023; Cano y Serrano, 2021).

Figura 1.

Modelado por deposición fundida (FMD)



Nota. Fused Deposition Modeling (FDM).[Imagen], University of Northern Iowa.

https://uni.edu/~rao/rt/major_tech

Los filamentos plásticos utilizados en la impresión 3D varían en tipo y propiedades según su aplicación. Los más comunes incluyen:

- Ácido Poliláctico (PLA): Fácil de usar y biodegradable.
- Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS): Resistente y duradero.
- Polivinil Alcohol (PVA): Se disuelve en agua y se usa como soporte en impresiones complejas.
- Elastómero Termoplástico (TPE): Ofrece flexibilidad y elasticidad.
- Policarbonato (PC): Destaca por su alta resistencia al impacto y estabilidad térmica.

- **Ácido Poliláctico con Grafeno:** Combina las propiedades del PLA con las del grafeno para mejorar características mecánicas y térmicas (Cano y Serrano, 2021).

Para realizar una impresión 3D, se necesita un modelo digital tridimensional del objeto deseado. Existen opciones accesibles y gratuitas que no requieren conocimientos avanzados en informática ni modelado 3D. Algunas herramientas y recursos disponibles son:

- **Tinkercad:** Herramienta online gratuita que facilita la creación de modelos basados en geometría sólida (Costa, s.f.).
- **Ultimaker Thingiverse:** Repositorio popular para compartir diseños bajo licencias GNU o Creative Commons (Gobierno de Canarias, 2017).
- **Blender:** Software libre y versátil para modelado digital compatible con formatos STL y OBJ (Mendoza-Álvarez, 2018; Marchante, 2023).
- **Aplicaciones de escaneo 3D:** Como 3DsizeMe, Canvas y Polycam, que permiten convertir objetos reales en modelos digitales (Vespa, 2023; Marchante, 2021).

En la actualidad, Internet ofrece una amplia gama de modelos para impresión 3D que están fácilmente disponibles y son accesibles para el público en general. Plataformas en línea y repositorios especializados permiten a los usuarios descargar, compartir y personalizar modelos tridimensionales para una variedad de propósitos educativos y recreativos. Estos recursos abarcan desde modelos simples y educativos hasta complejas reproducciones científicas, facilitando su integración en proyectos de aprendizaje y enseñanza (Anexo 3). Gracias a esta accesibilidad, las personas pueden aprovechar las ventajas de la impresión 3D para crear representaciones visuales detalladas y tangibles, mejorando así la comprensión de conceptos complejos y fomentando la innovación en diversos campos.

Uso de la impresión 3D en educación

La impresión 3D ha demostrado ser una herramienta valiosa en la enseñanza de diversas áreas científicas. En ingeniería mecánica se ha utilizado como herramienta didáctica para la enseñanza de diferentes asignaturas como Dibujo I, Lógica de Programación y Cálculo dando en general buenos resultados ayudando a los estudiantes a

comprender mejor los conceptos abstractos y a mejorar su rendimiento académico (Rúa et al., 2018).

En las ciencias médicas para el estudio de la anatomía humana, la impresión 3D se ha utilizado para todo tipo de estructuras del cuerpo humano, logrando una mejora la capacidad de rotación mental, la retención de conocimientos y la satisfacción educativa general de los estudiantes (Brumpt et al., 2023).

En el estudio de Staab, Katie Lynn (2021) sobre la implementación de la fabricación como herramienta pedagógica en anatomía de vertebrados, para estudiantes de biomecánica, la impresión en 3D ha mostrado ser un valioso aliado como apoyo para la visualización y entendimiento de esqueletos animales, reportando una gran apreciación y motivación de los estudiantes por el uso de esta tecnología.

Para el estudio de química universitaria la impresión 3D se ha utilizado para aprender de reacciones, y comprender las estructuras moleculares de compuestos químicos como apoyo a la enseñanza de estos temas, tanto para ingeniería como ciencias. (Ramírez-Tagle, Rodrigo, Pinto, Edith, & Angulo, Carla., 2022).

De igual forma puede implementarse el uso de esta tecnología en niveles de secundaria para la enseñanza en áreas matemáticas, como álgebra, geometría y estadística, como así revela Beltrán-Pellicer y Rodríguez-Jaso, (2017).

Para la enseñanza de física y química, se ha utilizado para visualizar modelos atómicos y moleculares, y explorar propiedades de la tabla periódica, haciendo el aprendizaje más interactivo y atractivo para los estudiantes (González, 2017).

En biología, facilita la enseñanza de teoría celular, permitiendo a los alumnos comparar morfologías celulares y aumentar su comprensión y confianza (Wollmuth et al., 2023). Para el estudio de la evolución, se puede usar para crear modelos de pruebas evolutivas, como la anatomía comparada, pruebas paleontológicas o bioquímicas, ayudando a comprender conceptos abstractos (Fernández, 2016).

Por último cabe destacar el potencial demostrado en el uso de esta tecnología como apoyo a la inclusión de estudiantes con discapacidad visual para la enseñanza con modelos tangibles o en braille (Yazici y Sözbilir, 2022).

La integración de las TIC's en la enseñanza de biología molecular aborda de manera eficaz los desafíos asociados con la abstracción y visualización de conceptos complejos. La biología molecular, con su enfoque en estructuras y procesos microscópicos, requiere una capacidad avanzada de abstracción que a menudo resulta difícil de alcanzar con métodos tradicionales (Mendoza-Álvarez, 2018). En este contexto, la impresión 3D permite a los estudiantes observar y manipular modelos tridimensionales de estructuras biológicas, facilitando la comprensión de conceptos como la estructura del ADN, cromosomas, y procesos celulares como la meiosis y la mitosis (Flores-Camacho et al., 2017). Este enfoque no solo mejora la capacidad de los estudiantes para visualizar y describir fenómenos biológicos abstractos, sino que también fomenta el uso activo de TIC en el entorno educativo.

Al involucrar a los estudiantes en la manipulación de modelos tridimensionales, se fomenta una comprensión más profunda y significativa de los conceptos, lo que a su vez contribuye al desarrollo de habilidades clave. Estas incluyen la capacidad para crear, seleccionar, usar y ajustar modelos con el fin de describir mecanismos y predecir y apoyar explicaciones sobre las relaciones entre las partes de un sistema, como se detalla en el CN2M OAH i. Además, esta metodología apoya el logro de objetivos de aprendizaje transversal, como el OAT25, que busca utilizar las TIC para resolver necesidades de información, comunicación, expresión y creación dentro del entorno educativo y social inmediato (MINEDUC, 2016). Al integrar estas herramientas tecnológicas, se potencia una experiencia de aprendizaje más interactiva y efectiva, alineada con los objetivos educativos contemporáneos.

Dificultades en la Comprensión de la División Celular: Perspectivas Internacionales

Es sabido que los procesos celulares que dependen de conocimientos moleculares son difíciles de comprender para los estudiantes, esto podría deberse como muestra un estudio realizado en Estados Unidos se encontró que los estudiantes de biología no piensan en los aspectos moleculares y genéticos de los cromosomas cuando describen la meiosis

o intentan comprender el comportamiento cromosómico, por lo que los estudiantes no transfieren sus conocimientos sobre la estructura cromosómica cuando piensan en procesos celulares complejos como la división celular (Newman et al., 2012). En otro estudio realizado en diferentes escuelas secundarias en India se reveló que un número significativo de estudiantes no comprendía las diferencias principales entre los dos procesos de división celular, la importancia del mantenimiento del número de cromosomas en la mitosis, la importancia de la formación de células germinales con un número haploide de cromosomas y los eventos de recombinación que tienen lugar durante la meiosis y sus implicaciones (Chattopadhyay, 2012).

DISEÑO METODOLÓGICO

Enfoque y método de la investigación

La presente investigación se planteó con un enfoque y método mixto, ya que pretendió complementar los resultados cuantitativos con percepciones cualitativas, con el fin de dar un mayor entendimiento del fenómeno estudiado, (Hernández et al., 2014).

Diseño

El diseño de investigación fue cuasiexperimental (Hernández et al., 2014), ya que se compararon dos grupos de estudiantes: uno que utiliza modelos impresos en 3D (grupo experimental) y otro que no (grupo control). Este diseño permitió evaluar de manera comparativa las diferencias en conocimientos y actitudes entre los dos grupos.

Unidad temporal

La unidad temporal del estudio fue de tipo longitudinal (Hernández et al., 2014), en la que se recolectan datos antes (pre) y después (post) de las intervenciones en el mismo período académico del segundo semestre del año 2024.

Alcance de la investigación

El alcance de la investigación fue de tipo exploratorio, descriptivo y comparativo. La exploración se centró en identificar posibles efectos y patrones iniciales del uso de modelos impresos en 3D, mientras que la descripción detalló el impacto específico sobre conocimientos y actitudes. La dimensión comparativa se enfoca en analizar las diferencias entre el grupo experimental y el grupo control en términos de conocimientos y actitudes hacia los conceptos de cromosomas y división celular. Esta combinación de alcances permitió una evaluación completa del impacto de la intervención (Hernández et al., 2014).

Tipo de muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico intencional de conveniencia, ya que la selección de la muestra se basó en criterios específicos relacionados con la disponibilidad y características de los grupos de estudiantes en los cursos seleccionados (Hernández, 2012). Este tipo de muestreo es adecuado para estudios educativos donde la selección está dirigida a obtener una muestra representativa de los cursos que participan en la intervención.

Población

La población objeto de estudio estuvo compuesta por todos los estudiantes de segundo año medio de establecimientos educacionales de la comuna de Los Ángeles. Este grupo es relevante para la investigación debido a su nivel académico y al enfoque del contenido educativo en la unidad de genética.

Muestra

La muestra seleccionada incluyó a los estudiantes de dos cursos de segundo año medio de un establecimiento educacional de la comuna de Los Ángeles, que cursan la unidad de genética, durante el segundo semestre del año escolar 2024.

Criterio de selección de muestra

La muestra fue seleccionada con base a que ambos cursos iniciarán la misma unidad de genética al momento de ser evaluados con el pretest. Este criterio aseguró que todos los participantes tengan una base similar de conocimientos al comienzo del estudio, permitiendo una evaluación comparativa más precisa de los efectos de la intervención.

Unidad de análisis

La unidad de análisis en esta investigación es el efecto de los modelos didácticos impresos en 3D en la enseñanza de los conceptos de división celular y cromosomas. Se evaluará cómo estos modelos influyen en la comprensión conceptual, la retención de

información y las actitudes hacia la biología de los estudiantes de segundo año medio del establecimiento educativo de la ciudad de Los Ángeles.

Variables

Variable dependiente: El estudio contempló dos variables dependientes:

1. Nivel de apropiación de conocimientos sobre cromosomas y división celular en estudiantes de segundo medio de un establecimiento educacional de la ciudad de Los Ángeles.
2. Nivel de actitudes frente a la enseñanza de conceptos sobre cromosomas y división celular en estudiantes de segundo medio de un establecimiento educacional de la ciudad de Los Ángeles.

Variable independiente: Propuesta pedagógica para abordar los conceptos de cromosomas y división celular utilizando modelos de impresión 3D para alumnos de segundo medio de un establecimiento educacional de la ciudad de Los Ángeles.

Técnicas de recolección de datos

Para evaluar el impacto de la intervención educativa basada en modelos impresos en 3D sobre el aprendizaje de cromosomas y división celular, se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

1. Cuestionario de Conocimientos (Pretest y Postest) (Anexo 1):

Objetivo: Evaluar el nivel de conocimientos básicos sobre cromosomas y división celular.

Descripción: El pretest se llevó a cabo al comienzo de la unidad de genética para establecer una línea base de los conocimientos previos de los estudiantes sobre cromosomas y división celular. El postest se aplicó al final de la intervención para medir los cambios en el nivel de conocimiento adquiridos durante el curso.

El cuestionario constó de 20 preguntas de selección múltiple, cada una con opciones de respuesta claramente definidas. Cada pregunta se evaluó como correcta o incorrecta, con un máximo de 20 puntos posibles. Cada respuesta correcta sumará un punto, y el puntaje total reflejará el nivel de adquisición de conocimientos, basado en la cantidad de respuestas correctas obtenidas.

Las dimensiones Evaluadas son las siguientes:

- **Conocimientos Básicos:** Preguntas que evalúan el entendimiento fundamental de los conceptos de cromosomas y división celular.
- **Comprensión:** Preguntas que examinan la capacidad de interpretar los conceptos en contextos específicos.
- **Aplicación:** Preguntas que miden la habilidad para aplicar los conceptos aprendidos en nuevas situaciones.
- **Análisis:** Preguntas que evalúan la capacidad para analizar y diferenciar entre conceptos relacionados.

2. Intervención Metodológica:

Objetivo: Implementar la propuesta pedagógica basada en modelos didácticos impresos en 3D para enseñar los conceptos de división celular y cromosomas.

Descripción: La intervención consistirá en 4 clases donde se utilizarán modelos impresos en 3D. Durante estas sesiones, se integrarán actividades prácticas y explicativas para facilitar el aprendizaje de los conceptos.

Tabla 1. Descripción general de la intervención metodológica.

Sesión	Temas de la clase	Objetivo de la clase	Actividad
---------------	--------------------------	-----------------------------	------------------

1	Estructura del ADN y cromosoma.	Comprender la estructura y función del ADN y los cromosomas en la célula.	Utilización de modelos impresos en 3D para visualizar estructura del ADN e ilustrarlo según su complementariedad de bases.
2	Estructura del cromosoma.	Comprender la estructura y función del ADN y los cromosomas en la célula.	Utilización de modelos impresos en 3D para visualizar estructura del cromosomas e ilustrarlo identificando sus partes.
3	Ciclo celular y mitosis	Comprender el ciclo celular y la mitosis y su importancia en la división celular.	Actividad con modelos 3D para ver secuencia del proceso y resolución de preguntas.
4	Meiosis	Comprender el proceso de la meiosis en la reproducción sexual y compararla con la mitosis.	Actividad con modelos 3D para ver secuencia del proceso y resolución de preguntas.

3. Encuesta sobre Actitudes hacia el Aprendizaje de Cromosomas y División Celular (Anexo 2).

Objetivo: evaluar las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de cromosomas y división celular.

Descripción: Esta encuesta se aplicó para evaluar las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de los cromosomas y la división celular. Incluye tanto preguntas cerradas, como preguntas abiertas y se administró a ambos grupos una vez que se haya completado la enseñanza del contenido.

Este instrumento consta de dos partes:

Parte 1: Consta de preguntas cerradas. Para ello se utilizará una escala de Likert de cinco puntos para evaluar las actitudes en cinco dimensiones específicas: Motivación: Evalúa el grado de interés y disposición de los estudiantes para aprender sobre cromosomas y división celular.

- Motivación: Analiza el nivel de interés de los estudiantes en los temas de cromosomas y división celular.
- Relevancia percibida del contenido teórico: Mide la percepción de los estudiantes sobre la importancia de los temas en su educación y comprensión de la biología.
- Percepción de la Eficacia de las Actividades: Evalúa la efectividad percibida de las actividades prácticas y recursos utilizados para el aprendizaje de estos temas.

Parte 2: Consta de preguntas abiertas, para lo cual se solicitarán respuestas cualitativas para explorar en detalle el impacto de las actividades y recursos didácticos, así como las percepciones de los estudiantes sobre la importancia y mejora de la enseñanza de los temas. Estas preguntas buscan captar la evolución del interés, la utilidad percibida de diferentes métodos de enseñanza, y la importancia personal del conocimiento adquirido.

Análisis de datos

Análisis datos Cuestionario de Conocimientos:

Cada pregunta tuvo opciones de respuesta que se puntuaron para cuantificar el nivel de conocimiento. Las respuestas se evaluaron en términos de correctas e incorrectas para determinar el nivel de adquisición de conocimientos mediante los siguientes niveles de apropiación:

Tabla 2. Categorización de puntajes por nivel de conocimiento.

Nivel	Puntaje	Descripción
1 Básico	0-4	Conocimiento muy limitado sobre los conceptos básicos.
2 Inicial	5-8	Comprensión inicial con dificultades para la aplicación consistente.
3 Intermedio	9-13	Comprensión adecuada y capacidad de aplicación en contextos familiares.
4 Avanzado	14-17	Buena comprensión y capacidad de análisis y aplicación efectiva.
5 Experto	18-20	Comprensión completa y detallada, aplicación precisa y efectiva.

1. Análisis de las respuestas del test Actitudinal:

Las respuestas cerradas se evaluaron según la escala de Likert de cinco puntos, y se calcularon un puntaje total para cada dimensión. Esto permitió identificar áreas de alta y baja actitud hacia los temas evaluados:

Tabla 3. Categorización de puntajes según actitudes.

Nivel	Puntaje	Descripción
1 Actitud Negativa	10-20	Bajo interés y motivación, dificultades persistentes, recursos poco valorados, y bajo reconocimiento de relevancia.
2 Actitud Neutral	21-30	Interés y motivación moderados, dificultades superadas con esfuerzo, valoración neutral de recursos y reconocimiento general de relevancia.
3 Actitud Positiva	31-50	Alto interés y motivación, superación efectiva de dificultades, valoración positiva de recursos, y alta percepción de relevancia.

Las respuestas abiertas se analizaron cualitativamente para identificar patrones, temas recurrentes y áreas de mejora en las estrategias de enseñanza. Se emplearon métodos como la codificación temática y el análisis de contenido para interpretar las percepciones y experiencias de los estudiantes.

2. Análisis estadístico:

Pruebas de Shapiro-Wilk y Kruskal-Wallis:

Para determinar si existen diferencias significativas en el conocimiento de los estudiantes entre el grupo que utilizó material didáctico tridimensional y el grupo que no lo utilizó, se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk para conocer la distribución de los puntajes obtenidos, posteriormente se realizó un análisis no paramétrico de varianza Kruskal-Wallis para comparar las puntuaciones medias obtenidas en las pruebas de conocimiento antes y después de la intervención.

Representación Gráfica:

- **Tablas y Gráficos:** Elaborar tablas y gráficos para representar descriptivamente los resultados. Estas representaciones visuales facilitarán la comparación entre ambos grupos y proporcionarán una visión clara de las diferencias en la adquisición de conocimientos.

Descripción Estadística:

- **Medidas de Tendencia Central y Dispersión:** Incluir medidas como la media, mediana, moda, desviación estándar y rango para proporcionar una visión clara del desempeño general y de las diferencias en la adquisición de conocimientos entre los grupos.

3. Análisis Cualitativo Adicional

Codificación Temática:

- **Transcripción y Codificación:** Transcribir y codificar las respuestas abiertas para identificar temas recurrentes y patrones en las percepciones de los estudiantes sobre los métodos de enseñanza.
- **Interpretación de Temas:** Analizar los temas identificados para comprender mejor el impacto de las actividades y recursos didácticos, así como las percepciones de los estudiantes sobre la enseñanza de los cromosomas y la división celular.

Esta combinación de análisis cuantitativo y cualitativo permitió una evaluación integral de la efectividad del material didáctico tridimensional en el aula.

RESULTADOS

Resultados Cuestionario de conocimientos previos

Los datos recopilados en el cuestionario de conocimientos previos fueron evaluados a una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar si presentan una distribución normal. Dando como resultado para el grupo control ($W= 0,91$; $p= 0,0286$) y el grupo experimental ($W= 0,88$; $p=0,0077$) por ende se extrae que las variables no presentan una distribución normal ya que el p-valor es $< \alpha$ ($0,05$). A los mismos se les aplicó un análisis de varianza Kruskal-Wallis para determinar si existe una diferencia significativa entre los puntajes de ambos grupos, dando como resultado ($g= 1$; $H= 0,52$; $p=0,467$), dado que el valor de p es $< \alpha$ ($0,05$) se puede concluir que no existen diferencias significativas entre las medias de los puntajes obtenidos en cada grupo.

Los resultados del pretest aplicado a los alumnos de segundo año medio, tuvo una participación de 36 alumnos en el grupo control y 30 alumnos formaron parte del experimental. El cuestionario constó de 20 preguntas de selección múltiple, de un punto cada una dividido en cuatro dimensiones y cuatro alternativas donde solo una es la correcta. Los puntajes obtenidos fueron de media $8,19 \pm 2,12$ para el grupo control con un mínimo de 5 y máximo 13 puntos y para el grupo experimental una media de $9,6 \pm 4,44$ con un mínimo de 2 y máximo de 17.

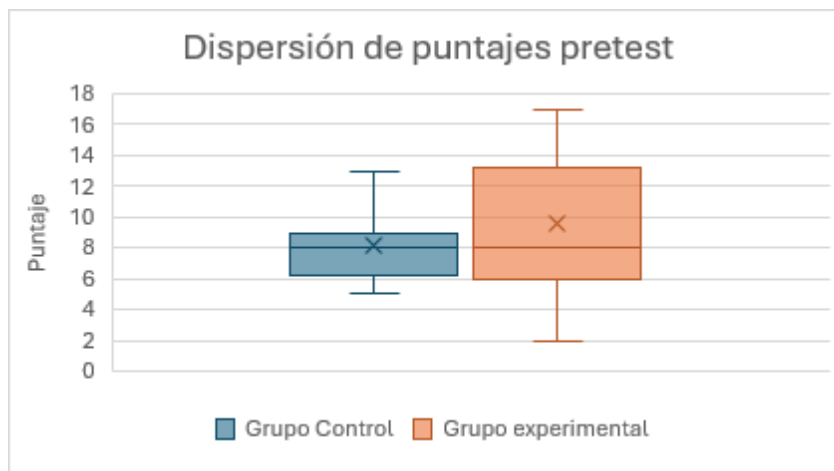


Figura 2. Gráfico de cajas de dispersión de puntajes del pretest.

Posteriormente los puntajes fueron organizados en cinco niveles de conocimiento según su puntaje obtenido. La figura 3 muestra los resultados del nivel de apropiación conceptual en el pretest, comparando un grupo experimental (barra naranja) y un grupo control (barra azul). En el Nivel 1: Básico, el grupo experimental tiene 2 alumnos y el control un 0. En el Nivel 2: Inicial, el grupo experimental alcanza 15 estudiantes y el control un 23. En el Nivel 3: Intermedio, el experimental tiene 6 y el control un 13. Para el Nivel 4: Avanzado, el experimental alcanza 7 alumnos y el control 0. Ninguno de los grupos logra el Nivel 5: Experto.

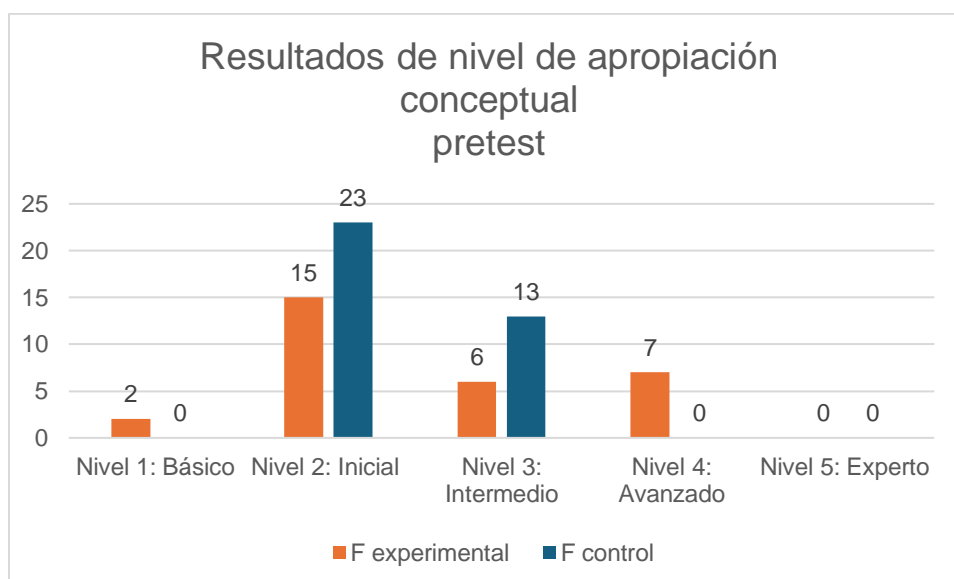


Figura 3. Gráfico de resultados del pretest en grupo control y experimental dividido en cinco niveles de conocimientos.

Resultados Cuestionario de conocimientos (postest)

Posteriormente para los datos del test de conocimientos se obtuvo como resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk del grupo control ($W=0,9$; $p=0,0185$) y el grupo experimental ($W=0,76$; $p=0,0001$), que las variables no presentan una distribución normal dado que p -valor es $< \alpha$ ($0,05$). De igual manera se realizó un análisis de varianza de Kruskal-Wallis para comparar la diferencia entre las medias de puntaje entre ambos grupos, obteniendo ($gl=1$; $H=12,93$; $p=0,0003$), lo que sugiere que existe una diferencia significativa entre las variables, ya que el valor de p es mayor que el nivel de significancia α ($0,05$).

En el cuestionario de conocimientos participaron 33 alumnos en el grupo de control y 25 alumnos del grupo experimental obteniendo un puntaje medio de $12,52 \pm 3,89$ con un mínimo de 6 a un máximo 19 en el grupo control y una media de $16,44 \pm 4,48$ para el grupo experimental donde los puntajes van de 4 a 20 puntos.

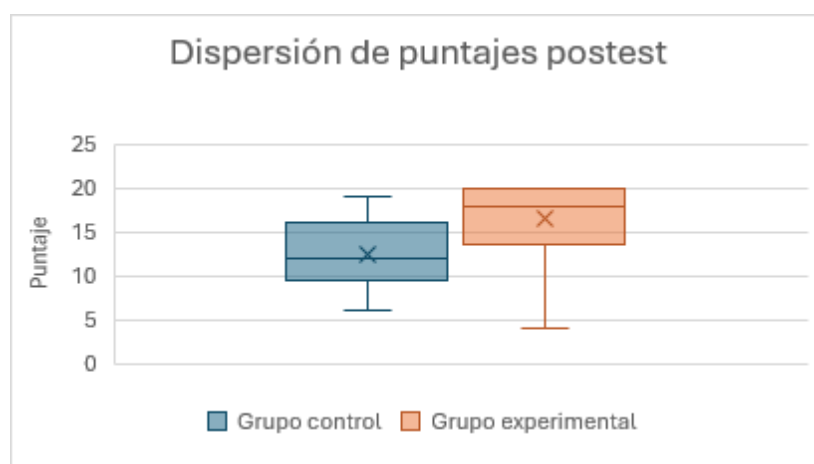


Figura 4. Gráfico de cajas de dispersión de puntajes postest.

De igual manera, los puntajes fueron clasificados en cinco niveles de conocimiento según su puntuación obtenida (Figura 5). En el postest, los resultados muestran diferencias notables entre el grupo experimental y el grupo control. En el Nivel 1: Básico, el grupo experimental tiene 1 alumno. En el Nivel 2: Inicial, el grupo experimental cuenta con 2

alumnos mientras que el control alcanza 5. En el Nivel 3: Intermedio, el grupo control concentra 13 alumnos, en contraste con los 3 del grupo experimental. En el Nivel 4: Avanzado, el grupo control presento 11 alumnos, mientras que el grupo experimental 4. Finalmente, en el Nivel 5: Experto, el grupo experimental destaca con 15 alumnos, mientras que el control apenas llega 4. Estos resultados evidencian una mejora significativa en el grupo experimental hacia niveles expertos, mientras que el grupo control se mantiene principalmente en niveles intermedios.

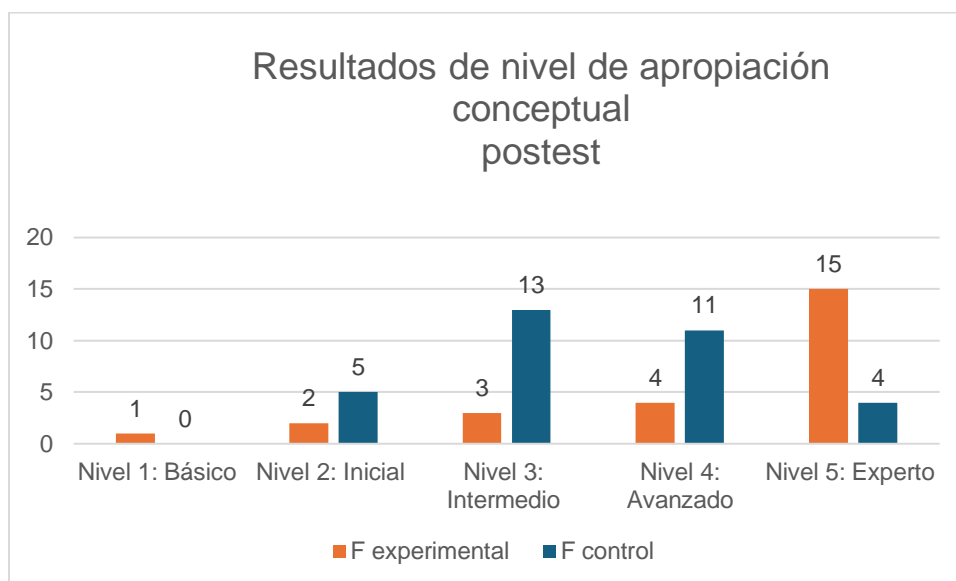


Figura 5. Gráfico de resultados de postest en grupo control y experimental dividido en cinco niveles de conocimientos.

Resultados por dimensión

Los resultados del postest muestran que la dimensión donde se obtuvo un mayor acierto en promedio fue en Aplicación con 81,04 % de acierto entre ambos grupos, y obteniendo el resultado menor en Análisis, con 65,98% acierto en promedio para ambos grupos. Adicionalmente se tiene que el porcentaje promedio de acierto total del grupo control paso del 43,8% en el pretest al 66,9% en el postest, y en el caso del grupo experimental este paso del 51,1% en el pretest al 82,2% en el postest.

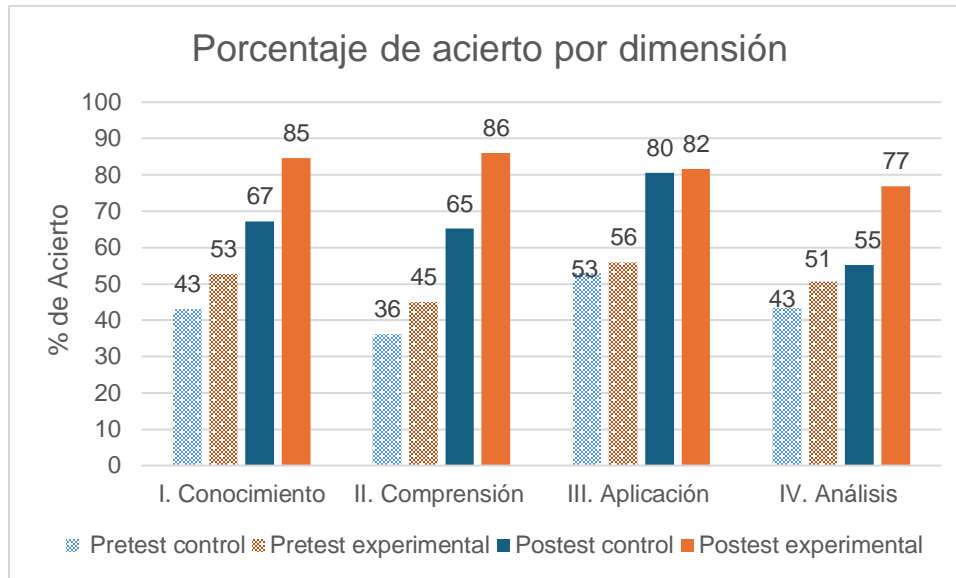


Figura 6. Gráfico de porcentaje de acierto de preguntas según dimensión para grupos control y experimental en pretest y postest.

Al analizar por pregunta (Anexo 4), en la dimensión de Conocimientos resalta que el grupo experimental obtuvo un acierto del 100% en la pregunta 1 "¿Qué es un cromosoma?", en comparación con el 60% de acierto en el pretest. Sin embargo, también destaca la pregunta 2 "¿Qué células tienen cromosomas sexuales?", ya que solo obtuvo un 50% de acierto, lo cual es más bajo comparado con las demás preguntas que no bajan del 80% de acierto. En contraste, el grupo control disminuyó su rendimiento del 38% al 30%.

En la dimensión 2, Comprensión, tanto el grupo control como el grupo experimental obtuvieron una mejora en sus puntajes, aunque este último mostró resultados mayores en comparación. En la dimensión 3, Aplicación, destaca la pregunta 12 "Si una célula con $2n = 6$ cromosomas se divide por meiosis, ¿Cuántos cromosomas tendrá cada célula hija al final de la meiosis II?", donde se observa que el grupo control pasó de un 42% a un 48% de acierto, lo que es un aumento anormalmente bajo en comparación con el grupo experimental, que pasó del 37% al 84%.

Finalmente, de manera similar, en la dimensión de Análisis se observó en la pregunta 19 "¿Qué consecuencias puede tener la duplicación de cromosomas durante la

replicación del ADN en la fase S del ciclo celular?" un bajo aumento en el rendimiento del grupo control, del 22% al 27%. A su vez, en la pregunta 18 "Analiza la siguiente situación: Una célula somática de una persona con síndrome de Down tiene 47 cromosomas en lugar de los 46 normales. ¿En qué fase de la meiosis ocurrió el error y qué tipo de error es?", el grupo control mostró un ligero descenso en los resultados, pasando del 36% al 33%.

Resultados test actitudinal

Parte 1: Preguntas cerradas:

Al tomar los datos obtenidos de la prueba actitudinal del grupo experimental (n=25) se observa que 2 alumnos presentaron una actitud negativa ante el aprendizaje de los temas de cromosoma y división celular con el uso de modelos 3D con un promedio de 17 puntos, a su vez 4 alumnos presentan una actitud neutral con una media de 32 puntos, mientras tanto 19 afirman tener una actitud positiva ante el aprendizaje de dichos temas con una media de 42 puntos.

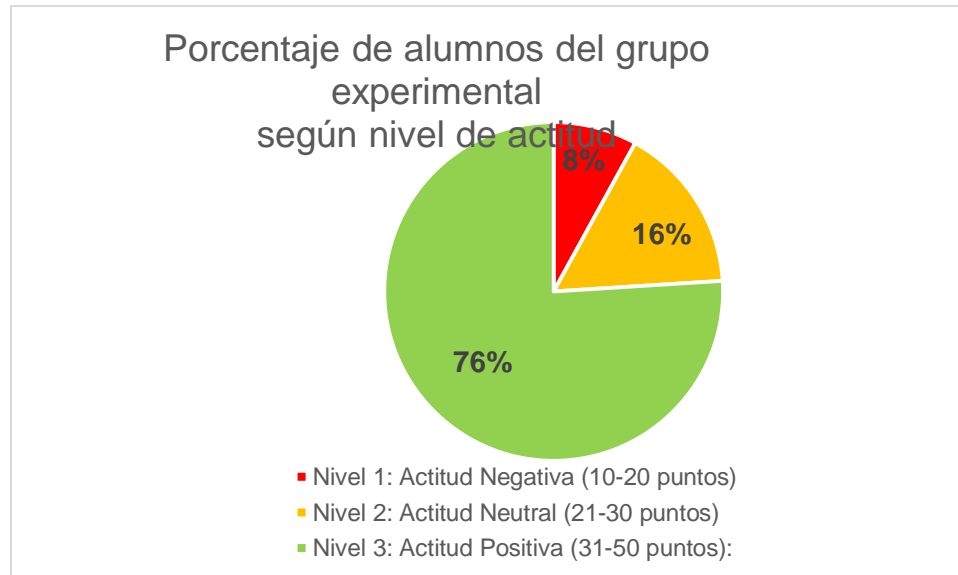


Figura 7. Gráfico de cuestionario actitudinal según el porcentaje de alumnos y nivel de interés en los temas de cromosoma y división celular junto al uso de modelos 3D.

Resultados por dimensión

Al analizar los puntajes por dimensión se tiene que en el apartado de motivación una mayoría de 17 alumnos dicen estar de acuerdo o totalmente de acuerdo en estar más motivado a aprender sobre temas de división celular y cromosoma, mientras tanto 5 alumnos dicen no estar de acuerdo en el aumento de su motivación. En la dimensión de importancia del contenido 18 alumnos dicen reconocer como importantes o muy importantes los temas vistos y al menos 2 alumnos no reconocen la importancia de estos temas. Según las percepciones de las actividades realizadas durante las intervenciones con apoyo de modelos 3D, 8 alumnos dicen estar de acuerdo y 8 totalmente de acuerdo en que ayudaron a mejorar su comprensión de los temas, mientras que 4 dicen que las actividades no le ayudaron en su comprensión.

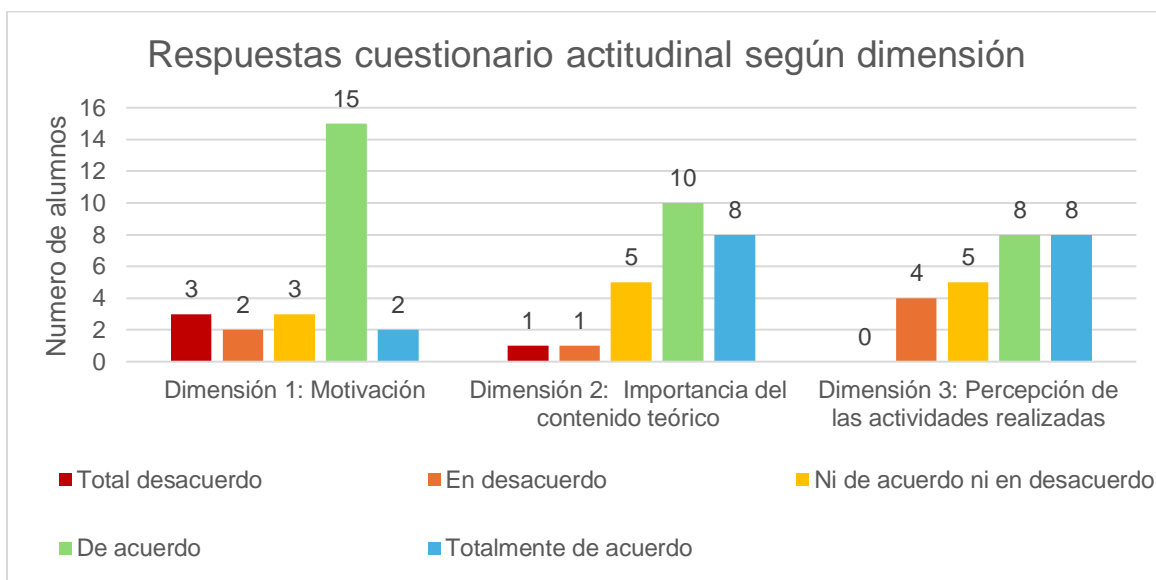


Figura 8. Gráfico de respuestas de cuestionario actitudinal según su número de respuestas y dimensión.

Parte 2. Preguntas abiertas:

Preguntas y síntesis de repuestas obtenidas:

1. ¿Cómo ha cambiado tu interés y comprensión sobre los cromosomas y la división celular desde que comenzaste a aprender sobre estos temas?

Síntesis de respuestas obtenidas:

“Mi interés sobre estos temas ha aumentado después de ver la importancia de estos procesos”.

“Mi interés ha cambiado positivamente, al principio me pareció difícil pero a medida que fui entendiendo me interese más por aprender”.

“Ha aumentado mi interés al ver como estos procesos impactan en la salud y cómo funcionan sus posibles fallos”.

“Mi interés ha cambiado negativamente conforme avanzaba en los temas al tener tantos nombres técnicos y ciclos complejos”.

“Me ha parecido más interesante desde que trabajamos en grupos con las figuras 3D”.

“Mi interés no ha cambiado mucho, ya que conocía de estos temas”.

Nudo crítico detectado: Los alumnos en su mayoría declaran que su interés aumento después de ver los temas de cromosomas y división celular, pero a su vez es un tema difícil que puede sobrecoger a algunos de los estudiantes, para lo cual el uso de metodologías colaborativas puede ser beneficioso.

2. ¿Cuál fue el concepto o tema que encontraste más desafiante y qué estrategias has utilizado para intentar comprenderlo mejor?

Síntesis de respuestas obtenidas:

“Ningún tema me pareció desafiante”.

“El concepto más desafiante fue la meiosis, y las estrategias que use fue prestar atención en clases, repasar mis apuntes y ver videos”.

“Lo más desafiante fue mitosis y meiosis, y para estudiar he visto videos”.

“La división celular”

“Los cromosomas y sus divisiones me parecieron difícil”.

“La meiosis y ADN”.

“Aprender todos los nombres y estructuras me fue desafiante, y una estrategia que use fue anotarlas y poner atención en clase”.

“Todos los temas me parecieron desafiantes”

Nudo crítico detectado: Los temas vistos presentan un desafío para la gran mayoría de alumnos en mayor o menor medida, siendo los más recurrentes mitosis y meiosis dada su

complejidad de fases y nombres, para lo cual los alumnos prefieren el uso de videos como refuerzo para su aprendizaje.

3. ¿Qué aspectos del uso de los modelos de impresión 3D en las actividades te ayudaron a comprender mejor los cromosomas y la división celular?

Síntesis de respuestas obtenidas:

“El uso de modelos 3D mejoro mi comprensión sobre del ADN”.

“El uso de modelos 3D me ayudo a comprender los temas de cromosoma y como se dividen”.

“Me ayudo a comprender las fases de la mitosis y meiosis”.

“El uso de modelos interactivos me ayudo a comprender mejor, ya que al tenerlo físicamente pude armar y entender mucho mejor la estructura que estoy estudiando, en lugar de solo verla en la pizarra”.

“La experiencia fue algo diferente a otras clases y divertido de aprender con los modelos 3D”.

“El uso de modelos 3D no me ayudó mucho, ya que eran una distracción para mi o no los entendía”.

Nudo critico detectado: La mayoría de los alumnos asegura que el uso de modelos 3D como apoyo a su aprendizaje fue beneficioso, resultando en una experiencia diferente a una clase normal, y se destaca la capacidad de interactuar con el modelo físicamente, aun así puede ser una herramienta distractora si no se emplea correctamente.

4. ¿Por qué crees que aprender sobre cromosomas y división celular es importante para tu formación ciudadana?

Síntesis de respuestas obtenidas:

“Aprender sobre cromosomas y división celular es clave para tomar decisiones sobre salud y entender temas científicos y éticos”.

“No creo que sea algo tan importante de aprender en cuestiones ciudadanas, aún que sí, si llegara a estudiar una carrera relacionada a la biología, supongo que sí será importante”.

“Es importante, ya que nos ayuda a comprender de forma más profunda el funcionamiento de nuestro cuerpo y como heredamos características de nuestros padres”.

“Para tener conocimiento de todo y mantenerme informado, cultura general”.

“Para comprender mejor temas científicos o de salud relacionados con genética”.

Nudo crítico detectado: Los alumnos relacionan mayoritariamente los conceptos de cromosoma y división celular con la importancia que tiene esta para entender la salud humana y herencia problemas genéticos.

DISCUSIÓN

En el ámbito educativo, el aprendizaje de conceptos científicos, como los relacionados con la Genética, se enfrenta a desafíos importantes debido al alto nivel de abstracción de dichos temas (Mendoza-Álvarez, 2018).

Al diagnosticar el nivel de conocimientos previos sobre genética de los grupos control y experimental se obtuvo que ambos grupos poseían un nivel de conocimientos similar, con una media 8,19 puntos y 9,6 puntos respectivamente. Según Ruiz, Banet, & López (2017) los alumnos que se enfrentan por primera vez al aprendizaje de la Genética suelen llegar ya con conocimientos relacionados, adquiridos por influencias extraescolares como los medios de comunicación y conocimientos desarrollados en el ámbito educativo en grados anteriores.

Posteriormente al determinar el nivel de conocimientos adquiridos se vio un aumento en el promedio de puntajes para ambos grupos, pero con una diferencia significativa entre ambos (12,52 y 16,44, $p=0,0003$), siendo notoriamente mayor el del grupo experimental, donde las áreas en que se observó una mayor mejora con respecto al grupo control fueron las de conocimientos, comprensión y análisis, con un resultado igualado en preguntas de aplicación. Según Berenguer (2016), con el uso de modelos en 3D que los alumnos puedan manipular, se facilita en gran medida el aprendizaje conceptos teóricos, permitiendo una experiencia de aprendizaje más personal y significativa, que otros medios como la pizarra no replican.

De forma similar Wollmuth et al. (2023), encontraron, que la utilización de modelos impresos en 3D como apoyo a las lecciones de biología celular, resulta en un aumento significativo en el conocimiento y la confianza de los estudiantes en los temas tratados. Aun así, como indica Hansen et al. (2020), si bien el potencial pedagógico de la impresión 3D ha sido respaldado por la literatura, es difícil hacer afirmaciones generales sobre el aprendizaje de los estudiantes en relación con el uso o la creación de modelos impresos en 3D en el contexto de la educación biológica. En este caso debido a la limitada muestra analizada o posible influencia de otros materiales de apoyo utilizados por los estudiantes, estos factores pueden tener un impacto que no se mide en este estudio lo que dificulta cuantificar la mejora real en el cambio conceptual de los estudiantes.

Al analizar los resultados del test por dimensión (Anexo 4) de las preguntas se obtuvo en Conocimientos que ambos grupos presentaron buen rendimiento con excepción de la pregunta 2 ¿Qué células tienen cromosomas sexuales?, donde incluso el grupo control retrocedió en acierto y el grupo experimental tuvo un crecimiento moderado, lo que indica que no se logró asimilar por completo el concepto de cromosoma sexual, como indica Íñiguez Porras y Puigcerver Oliván (2013), es un error habitual entre los alumnos dada su complejidad y podría requerir una metodología de enseñanza adicional para abordarlo.

En la dimensión de Comprensión se destaca la pregunta 9 ¿Cuál es el papel de los microtúbulos durante la mitosis?, sobre la función de los microtúbulos en la división celular, en donde el grupo control obtuvo una menor mejora que el grupo experimental (51% y 76% respectivamente) lo que sugiere una mayor apropiación del contenido por parte del grupo experimental, esto pudo deberse al apoyo dado por los modelos didácticos tridimensionales y el uso de videos declarados por el grupo experimental que facilitó la comprensión de los movimientos de los cromosomas y los eventos asociados a la división celular, mejorando la comprensión de los estudiantes sobre este tema (Brown, 2015).

La dimensión de Aplicación se obtuvo un bajo aumento en la pregunta 12, Si una célula con $2n = 6$ cromosomas se divide por meiosis, ¿Cuántos cromosomas tendrá cada célula hija al final de la meiosis II? del grupo control, la que se relaciona con procesos detallados y abstractos, como las divisiones de meiosis, lo que resalta la necesidad de reforzar estos temas y aplicación práctica de ellos, ya que. Muchos estudiantes tienen problemas con la genética, dada la comprensión profunda que se requiere de la estructura y el comportamiento molecular de los cromosomas, necesaria para comprender los conceptos de división celular y la meiosis (Newman et al., 2012).

En Análisis destaca la pregunta 18 Analiza la siguiente situación: Una célula somática de una persona con síndrome de Down tiene 47 cromosomas en lugar de los 46 normales. ¿En qué fase de la meiosis ocurrió el error y qué tipo de error es? y la pregunta 19 ¿Qué consecuencias puede tener la duplicación de cromosomas durante la replicación del ADN en la fase S del ciclo celular?, presentando dificultades para ambos grupos, nuevamente en procesos de meiosis y consecuencias de la duplicación de cromosomas, como señalan Íñiguez Porras y Puigcerver Oliván (2013), La meiosis supone una importante dificultad durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de la herencia biológica

y los estudiantes no la relacionan con el proceso de formación de gametos ni con la resolución de problemas de genética. Estos resultados indican la necesidad de reforzar los temas con actividades que fomenten habilidades analíticas y explicativas, como estudios de caso o simulaciones.

En el ámbito actitudinal del grupo experimental, se obtuvo que una gran mayoría de los alumnos presento una actitud positiva ante el uso de modelos 3D, asegurando que resultó en un aumento en su motivación de aprender los temas vistos, valorando la capacidad de interactuar con los modelos, lo que combinado con una metodología colaborativa, que en un inicio se pensó por un limitado número de material impreso, resulto en una clase diferente a lo habitual, como indica Gonzales (2017) los modelos 3D permiten un aprendizaje diferente, más entretenido, manipulativo y visual, consiguiendo que los alumnos se muestran más interesados y motivados, de igual forma De la Cruz-Campos et al. (2022) señala que los estudiantes aprenden mientras experimentan y se divierten, generando en los mismos un deseo por continuar adquiriendo conocimientos.

CONCLUSIONES

En este estudio se logró observar que la utilización de modelos didácticos impresos en 3D como apoyo de la enseñanza de cromosomas y división celular tiene un impacto significativo y positivo en el aprendizaje de conceptos biológicos complejos. Por lo que se acepta la Hipótesis de la investigación H_1 validando que los recursos tridimensionales son herramientas eficaces para promover una mayor comprensión y retención de contenido en estudiantes de segundo medio.

Asimismo, los resultados actitudinales demuestran que el uso de este tipo de material didáctico es muy bien recibido por los alumnos, tanto por su contribución al entendimiento y visualización contenidos complejos, así como su valor como algo novedoso, ya sea por su método de elaboración o que no es algo habitual en el aula, genera motivación para el aprendizaje, por lo que se acepta la Hipótesis H_2 aceptando el uso de esta tecnología como un factor motivador en el aula. Sin embargo, también se identificaron desafíos, como la necesidad de estrategias adicionales para abordar conceptos más abstractos o difíciles, como la meiosis y los cromosomas sexuales, áreas que siguen presentando dificultades recurrentes.

En términos de alcance, este estudio destaca la relevancia de integrar tecnologías como la impresión 3D en las aulas para facilitar la visualización y manipulación de conceptos abstractos, promoviendo un aprendizaje más activo y significativo. Los resultados obtenidos no solo tienen implicancias prácticas para el diseño de materiales educativos en biología, sino que también pueden ser aplicables a otras áreas de las ciencias para abordar retos similares de abstracción conceptual.

La impresión en 3D ha mostrado ser una tecnología con un gran potencial como recurso educativo, a pesar de las limitaciones iniciales que puede plantear, como en este caso al capacitación en el manejo de hardware o la gran cantidad de copias requeridas del material didáctico, a larga permite incorporar toda una nueva dimensión material de apoyo a la enseñanza en forma de modelos didácticos que permiten una interacción más directa y tangible con el alumnado, ideal para hacer más variada la enseñanza y extender el abanico de estilos de aprendizaje, resultando en una experiencia entretenida y motivadora para estudiantes.

Por último, este trabajo resalta la importancia de continuar explorando y optimizando el uso de soluciones tecnológicas en la educación, proponiendo futuras investigaciones que evalúen su impacto a largo plazo y su integración en otras áreas de las ciencias naturales con el uso de metodologías de enseñanza innovadoras.

BIBLIOGRAFÍA

- Ariztondo-Gorrotxategi, I. (2015). Análisis crítico del empleo de impresoras 3D en centros de Formación Profesional de Guipúzcoa. reunir REPOSITORIO DIGITAL. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/3501>
- Ayala, O. (s.f.). Las tecnologías de información y comunicación como recursos educativos en la formación para el ejercicio ciudadano. *Integra Educativa*, 5(2), 105-118. <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2017.v5n1.149>
- Bagur-Pons, S., Roselló-Ramón, M.R., Paz-Lourido, B., & Verger, S. (2021). El enfoque integrador de la metodología mixta en la investigación educativa. *RELIEVE*, 27(1), art. 3. <http://doi.org/10.30827/relieve.v27i1.21053>
- Beltran-Pellicer, P. y Rodríguez-Jaso, C (2017). Modelado e impresión en 3D en la enseñanza de las matemáticas: un estudio exploratorio. *ReiDoCrea*, 6, 16-28.
- Berenguer, M. (2016). La impresión 3D como elemento transversal en la Educación Secundaria. *RUA*. <http://hdl.handle.net/10045/56106>
- Brown CR (1995) La enseñanza eficaz de la biología. Longman Publishing, Nueva York, EE.UU.
- Brumpt, E., Bertin, E., Tatu. L., Louvrier, A. (2023). 3D printing as a pedagogical tool for teaching normal human anatomy: a systematic review. *BMC Med Educ* 23, 783 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04744-w>
- Cano, A., Serrano, A. (2021). "Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas". *Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, (13), 227-238. https://doi.org/10.46583/nereis_2021.13.809

- Castro, A., Ramírez, R. (2013). Enseñanza de ciencias naturales para el desarrollo de competencias. *Amazonia*, 2(3), <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/646>
- Chattopadhyay, A. (2012). Comprensión de la mitosis y la meiosis en estudiantes de educación secundaria superior del noreste de la India y sus implicaciones para la educación genética. *Scientific & Academic*, 2(3), 41-47. doi: 10.5923/j.edu.20120203.04
- Costa, O. (s.f.). Tinkercad. Dando volumen a las ideas. *INTEF*. DOI 10.4438/2695-4176_OTE_2019_847-19-121-5
- Currículum Nacional. (s.f.). Orientaciones didácticas Ciencias Naturales. Recuperado de <https://www.curriculumnacional.cl/portal/Educacion-General/Ciencias-naturales/20951:Orientaciones-didacticas-Ciencias-Naturales>
- De la Cruz-Campos, J. C., Campos-Soto, M. N., Rodríguez-Jiménez, C., & Ramos Navas-Parejo, M. (2022). Impresión 3D en educación. Perspectiva teórica y experiencias en el aula. *Revista Centra de Ciencias Sociales*, 1(1), 67-80. <https://doi.org/10.54790/rccs.16>
- Diez de Tancredi, D. y Caballero, C. (2004). Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma. Su aprendizaje significativo. *Revista de investigación*, 56, 91-121.
- Fernández, I. (2016). Aplicación de la impresión 3D y las TIC al diseño de material docente para la enseñanza de la evolución. *Universidad de Granada*, [10.30827/Digibug.43475](https://doi.org/10.30827/Digibug.43475)

- Flores-Camacho, F., García-Rivera, B. E., Báez-Islas, A., & Gallegos-Cázares, L. (2017). Diseño y Validación de un Instrumento para Analizar las Representaciones Externas de Estudiantes de Bachillerato sobre Genética. *Revista Iberoamericana De Evaluación Educativa*, 10(2). <https://doi.org/10.15366/riee2017.10.2.008>
- González, G. (2017). Impresión 3D en Física y Química. *Universidad de Cantabria*. <http://hdl.handle.net/10902/13141>
- Gobierno de Canarias. (2017). Thingiverse. <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoescuela/3d/2017/03/22/thingiverse/>
- Hansen, AK., Langdon, TR., Mendrin, LW., Peters, K., Ramos, J., Lent, DD. (2022). Exploring the Potential of 3D-printing in Biological Education: A Review of the Literature.
- *INTEGRATIVE AND COMPARATIVE BIOLOGY*, 60(4), 896-905. DOI10.1093/icb/icaa100
- Hernández, R.M. (2017). Impacto de las TIC en la educación: Retos y Perspectivas. *Propósitos y Representaciones*, 5(1), 325 – 347. <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2017.v5n1.149>
- Hernández, O. (2012). Estadística Elemental para Ciencias Sociales. (Tercera Edición). San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Íñiguez Porras, F., Puigcerver Oliván, 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. <http://hdl.handle.net/10498/15441>

- Marchante, A. (2021). Las aplicaciones de escaneo 3D para dispositivos móviles. *3D natives*. [Encuentra la aplicación de escaneo 3D que se ajusta a tus necesidades - 3Dnatives](#)
- Marchante, A. (2023). Blender, ¿un software adecuado para la impresión 3D?. *3D natives*. <https://www.3dnatives.com/es/blender-software-adecuado-para-impresion-3d-020320202/>
- Manrique, A., Gallego, A. (2012). EL MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE APRENDIZAJES SIGNIFICATIVOS. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*,4(1),101-108. [Redalyc.EL MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE APRENDIZAJES SIGNIFICATIVOS](#)
- Mendoza-Álvarez, A. (2018). Uso de modelos 3D para enseñanza de la Biología en Bachillerato. *Universidad Internacional de La Rioja*, <https://reunir.unir.net/handle/123456789/6540>
- Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H. y Boughman, J. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*, 178(3), 1157-1168. <http://dx.doi.org/10.1534/genetics.107.084194>
- MINEDUC. (2012). Estándares Orientadores para carreras de Pedagogía en Educación Media. Estándares Pedagógicos y Disciplinarios. Ministerio de Educación- República de Chile: LOM Ediciones Ltda. https://www.cpeip.cl/wp-content/uploads/2019/03/Est%C3%A1ndares_Media.pdf
- MINEDUC. (2016). Ciencias Naturales Programa de Estudio Segundo medio. ISBN 9789562926287

- Morales, P. (2012). ELABORACIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO. *RED TERCER MILENIO*. [https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/721/1/Elaboracion material didactico.pdf](https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/721/1/Elaboracion%20material%20didactico.pdf)
- Nemorin, S., Selwyn, N. (2016). Making the best of it? Exploring the realities of 3D printing in school. *Research Papers in Education*, (23), 578-595. <https://doi.org/10.1080/02671522.2016.1225802>
- Newman, D., Catavero, C., Wright, L. (2012). Students fail to transfer knowledge of chromosome structure to topics pertaining to cell division. *CBE Life Sci Educ*, 11(4):425-36. doi: 10.1187/cbe.12-01-0003.
- Ochoa Guevara, A. (2023). ORIGEN Y AVANCE DE LA IMPRESIÓN 3D. *+Ciencia*, (33), 24–28. <https://publicaciones.anahuac.mx/index.php/masciencia/article/view/2092>
- Ortiz, C. (2009). Estrategias didácticas en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Dialnet*, (16), 63-72. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4040156>
- Padilla, C. (2023). Concepciones alternativas fundamentales sobre Biología celular, Biología molecular y Genética en estudiantes de Pedagogía en Ciencias Naturales y Biología, Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles. *Universidad de Concepción*. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/10685>
- Palancín, M. (2015). Propuesta didáctica para abordar los contenidos de Genética y biología Molecular en 4° de la ESO utilizando el enfoque de Investigación Dirigida. *Universidad Internacional de la Rioja*. [PALACIN FERNANDEZ, MARIA.pdf \(unir.net\)](#)
- Íñiguez Porras, F. J., & Puigcerver Oliván, 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), pp-307.
<http://hdl.handle.net/10498/15441>

- Ramírez-Tagle, Rodrigo, Pinto, Edith, & Angulo, Carla. (2022). Plataforma interactiva para enseñanza de estequiometria y estructura de compuestos químicos, mediante el uso de impresión 3D. *Educación química*, 33(3), 33-47. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.3.79958>
- Rúa E., F. Jiménez, G., Gutiérrez, A., Villamizar, N. (2018). “3D Printing as a Didactic Tool for Teaching some Engineering and Design Concepts”, *Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*, 23, (1), 70-83. DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.12248>
- Ruiz, C., Banet, E., López, L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: implicaciones para su enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 14(3), 550-569. <https://www.redalyc.org/journal/920/92052652004/html/>
- Ruiz Ortega, F. (2007). MODELOS DIDÁCTICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, (3), 41-60. [Redalyc. MODELOS DIDÁCTICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES](https://www.redalyc.org/journal/920/92052652004/html/)
- Staab, Katie Lynn (2021). Implementing Fabrication as a Pedagogical Tool in Vertebrate Anatomy Courses: Motivation, Inclusion, and Lessons, *Biology Department, McDaniel College, Westminster, MD 21157, USA*, 61,(3), 1013 – 1027. DOI: 10.1093/icb/icab147
- Suárez-Ramos, J. (2017). Importancia del uso de recursos didácticos en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias biológicas para la estimulación visual del estudiantado. *Revista Electrónica Educare*, [doi: http://dx.doi.org/10.15359/ree.21-2.22](http://dx.doi.org/10.15359/ree.21-2.22)

- Vespa, A. (2023). Las mejores apps para escanear objetos en 3D. *Trece Bits redes sociales y tecnología*. [Las mejores apps para escanear objetos en 3D \(trecebits.com\)](https://trecebits.com)
- University of Northern Iowa, (s.f.). *Fused Deposition Modeling (FMD)*, [Imagen]. https://uni.edu/~rao/rt/major_tech
- Wollmuth, E., Correa A., Alvarado Obando M., Smith M., Buckley D., Hefferon K., Angert E. (2023). Helping students see bacteria in 3D: cellular models increase student learning about cell size and diffusion. *J Microbiol Biol Educ.* 24(3). <https://doi.org/10.1128/jmbe.00089-23>
- Yazici, F., Sözbilir, M. (2022). Designing and evaluation of 3D materials for teaching biological systems to 6th grade students with visual impairment (SVI). *Journal of Biological Education* , <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2072363>

ANEXOS

ANEXO 1. Pretest y posttest

Cuestionario de Conocimientos sobre Cromosomas y División Celular

Nombre:			
Curso:		Fecha:	

Objetivo: Evaluar el nivel de conocimientos básicos sobre cromosomas y división celular.

Instrucciones: Este cuestionario evalúa tus conocimientos sobre cromosomas y división celular a través de preguntas en cuatro dimensiones: Conocimientos básicos, Comprensión, Aplicación y Análisis. Lee cada pregunta y selecciona la opción correcta. Cada pregunta vale 1 punto y tienes 45 minutos para completar la evaluación.

Dimensión 1: Conocimientos básicos

1. ¿Qué es un cromosoma?

- a) Una molécula de ADN asociada con proteínas.
- b) Un tipo de célula.
- c) Una proteína que regula el ciclo celular.
- d) Un orgánulo celular.

2. ¿Qué células tienen cromosomas sexuales?

- a) Células sexuales.
- b) Células somáticas.
- c) Todas las anteriores.
- d) Ninguna de las anteriores.

3. ¿Cuál es la función del centrómero?

- a) Producir energía para la célula.
- b) Unir las cromátidas hermanas.
- c) Iniciar la replicación del ADN.
- d) Transportar nutrientes a la célula.

4. ¿En qué fase de la mitosis los cromosomas se alinean en el ecuador de la célula?

- a) Profase
- b) Metafase
- c) Anafase
- d) Telofase

5. ¿Cuántas células hijas se producen al final de la meiosis?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4

6. ¿Por qué es crucial la fase de la Profase I en la meiosis para la variabilidad genética en los organismos?

- a) La Profase I permite la replicación del ADN, asegurando que todas las células hijas tengan el mismo número de cromosomas.
- b) Durante la Profase I, ocurre el entrecruzamiento (crossing-over) entre cromátidas no hermanas, lo que aumenta la variabilidad genética al intercambiar segmentos de ADN entre cromosomas homólogos.
- c) La Profase I asegura la correcta separación de los cromosomas a través del huso mitótico, evitando errores en la distribución de cromosomas.
- d) La Profase I se encarga de la división del citoplasma y la formación de dos núcleos hijos, lo que garantiza que cada célula hija reciba una copia completa de todos los cromosomas.

Dimensión 2: Comprensión

7. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta sobre la mitosis?

- a) Produce cuatro células hijas con la mitad del número de cromosomas.
- b) Ocurre solo en células reproductoras.
- c) Resulta en dos células hijas genéticamente idénticas.
- d) No implica la división del núcleo.

8. ¿Qué diferencia principal existe entre la mitosis y la meiosis?

- a) La mitosis produce células haploides y la meiosis produce células diploides.
- b) La mitosis produce células genéticamente idénticas y la meiosis produce células genéticamente diversas.
- c) La mitosis ocurre solo en organismos multicelulares y la meiosis solo en unicelulares.
- d) La mitosis ocurre solo en plantas y la meiosis solo en animales.

9. ¿Cuál es el papel de los microtúbulos durante la mitosis?

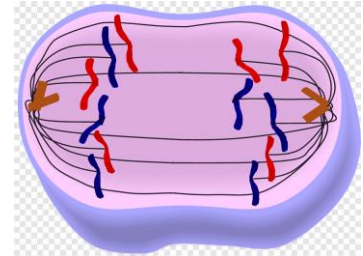
- a) Replicar el ADN.
- b) Unir cromosomas en el núcleo.
- c) Separar las cromátidas hermanas.
- d) Sintetizar proteínas.

10. ¿Qué fase de la meiosis es responsable de la variabilidad genética debido al entrecruzamiento (crossing-over)?

- a) Profase I
- b) Metafase I
- c) Anafase I
- d) Telofase I

Dimensión 3: Aplicación

11. Observa el siguiente esquema de una célula en anafase de mitosis. ¿Qué estructuras deben estar etiquetadas?



- a) Núcleo y nucléolo.
- b) Cromosomas, centrómeros y fibras del huso.
- c) Membrana celular y citoplasma.
- d) Aparato de Golgi y lisosomas.

12. Si una célula con $2n = 6$ cromosomas se divide por meiosis, ¿cuántos cromosomas tendrá cada célula hija al final de la meiosis II?

- a) 12 cromosomas.
- b) 6 cromosomas.
- c) 3 cromosomas.
- d) 1 cromosoma.

13. En un laboratorio, observas células en diferentes etapas de la mitosis. ¿Qué características identificarías en una célula en telofase?

- a) Cromosomas alineados en el ecuador de la célula.
- b) Cromosomas separados hacia polos opuestos.
- c) Formación de dos núcleos hijos.
- d) Condensación de cromatina.

14. Un organismo diploide tiene un número diploide de 8 cromosomas ($2n = 8$). ¿Cuántos cromosomas tendría un gameto de este organismo?

- a) 4
- b) 8
- c) 12
- d) 16

15. Ordene de menor a mayor nivel de organización:

- a) ADN, Nucleótidos, Cromosomas, Genes, Átomos, Cromatina
- b) Átomos, Nucleótidos, Genes, ADN, Cromatina, Cromosomas
- c) Nucleótidos, Átomos, Genes, Cromatina, ADN, Cromosomas
- d) Átomos, Nucleótidos, Genes, ADN, Cromosomas, Cromatina

Dimensión 4: Análisis

16. Si una célula no separa correctamente sus cromosomas durante la anafase de la mitosis, ¿qué podría ocurrir?

- a) La célula se divide en cuatro células hijas.
- b) Las células hijas tendrán un número incorrecto de cromosomas.
- c) La célula madre se convertirá en un gameto.
- d) La célula no completará la citocinesis.

17. ¿Qué trastorno genético puede resultar de la no disyunción durante la meiosis?

- a) Cáncer.
- b) Diabetes.
- c) Síndrome de Down
- d) Fibrosis quística

18. Analiza la siguiente situación: Una célula somática de una persona con síndrome de Down tiene 47 cromosomas en lugar de los 46 normales. ¿En qué fase de la meiosis ocurrió el error y qué tipo de error es?

- a) Metafase I, no disyunción
- b) Anafase I, no disyunción
- c) Telofase II, entrecruzamiento
- d) Profase II, mutación

19. ¿Qué consecuencias puede tener la duplicación de cromosomas durante la replicación del ADN en la fase S del ciclo celular?

- a) Las células hijas serán genéticamente idénticas a la célula madre.
- b) Se producirán errores en la segregación de cromosomas.
- c) Habrá un aumento en la variabilidad genética.
- d) La célula no podrá dividirse correctamente.

20. ¿Cómo afecta la permutación cromosómica a la diversidad genética en una población?

- a) Reduce la variabilidad genética al producir células hijas genéticamente idénticas.
- b) Aumenta la variabilidad genética al permitir la formación de diferentes combinaciones de cromosomas en las células hijas.
- c) No tiene ningún impacto en la variabilidad genética.
- d) Solo afecta a la variabilidad genética en organismos unicelulares.

Las respuestas correctas son:

- a) Una molécula de ADN asociada con proteínas.
- c) Todas las anteriores.
- b) Unir las cromátidas hermanas.
- b) Metafase.
- d) 4.
- b) Durante la Profase I, ocurre el entrecruzamiento (crossing-over) entre cromátidas no hermanas, lo que aumenta la variabilidad genética al intercambiar segmentos de ADN entre cromosomas homólogos.
- c) Resulta en dos células hijas genéticamente idénticas.
- b) La mitosis produce células genéticamente idénticas y la meiosis produce células genéticamente diversas.
- c) Separar las cromátidas hermanas.
- a) Profase I.
- b) Cromosomas, centrómeros y fibras del huso.
- c) 3 cromosomas.
- c) Formación de dos núcleos hijos.
- a) 4.
- d) Átomos, Nucleótidos, Genes, ADN, Cromosomas, Cromatina.
- b) Las células hijas tendrán un número incorrecto de cromosomas.
- c) Síndrome de Down.
- b) Anafase I, no disyunción.
- a) Las células hijas serán genéticamente idénticas a la célula madre.
- b) Aumenta la variabilidad genética al permitir la formación de diferentes combinaciones de cromosomas en las células hijas.

ANEXO 2.
Test actitudinal

Evaluación de Actitudes hacia el aprendizaje de la División Celular y los Cromosomas

Objetivo: evaluar las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de cromosomas y división celular.

Parte 1: Preguntas cerradas.

Consta de preguntas cerradas utilizando una escala de Likert de cinco puntos para evaluar las actitudes de los estudiantes en 3 dimensiones específicas: Motivación, Relevancia Percibida, y Percepción de la Eficacia de las Actividades.

Indica tu nivel de acuerdo con las siguientes afirmaciones utilizando la escala siguiente: 1: Totalmente en desacuerdo, 2: En desacuerdo, 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4: De acuerdo, 5: Totalmente de acuerdo.

Dimensión 1: Motivación		1	2	3	4	5
1	Me siento motivado/a en aprender más sobre los cromosomas y ADN.					
2	Me siento motivado/a en aprender más sobre división celular.					
3	Estoy dispuesto/a dedicar tiempo adicional para estudiar los cromosomas y la división celular si no entiendo los conceptos.					
4	Me gustaría realizar más actividades relacionados con los cromosomas y la división celular.					
Dimensión 2: Importancia del contenido teórico						
5	Entender los procesos de mitosis y meiosis es importante para mi educación en biología.					
6	Creo que es esencial conocer sobre cromosomas y división celular para entender la genética y la herencia.					
7	Creo que los conocimientos sobre cromosomas y división celular son útiles para comprender otras áreas de la biología.					
Dimensión 3: Percepción de las actividades realizadas						
8	Considero que las actividades prácticas sobre ADN y cromosoma me ayudan a entender mejor los conceptos teóricos.					
9	Considero que las actividades prácticas sobre división celular me ayudan a entender mejor los conceptos teóricos.					
10	Considero que las actividades con modelos 3d me ayudaron a entender los procesos de ADN, cromosoma y división celular.					
	TOTAL:					

Parte 2. Preguntas abiertas: Consta de preguntas abiertas que solicitan respuestas cualitativas para explorar el impacto de las actividades y recursos didácticos, y las percepciones de los estudiantes sobre la importancia y mejora de la enseñanza. Estas preguntas buscan captar la evolución del interés, la utilidad percibida de diferentes métodos de enseñanza, y la importancia personal del conocimiento adquirido.

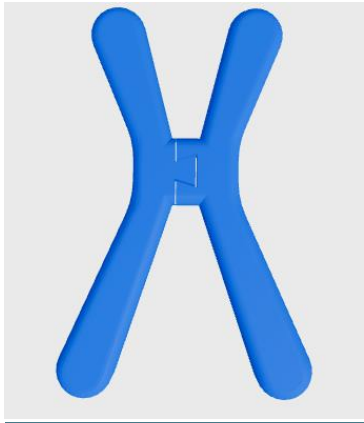


1. ¿Cuál fue el concepto o tema que encontraste más desafiante y qué estrategias has utilizado para intentar comprenderlo mejor?

2. ¿Qué aspectos del uso de los modelos de impresión 3D en las actividades te ayudaron a comprender mejor los cromosomas y la división celular?

3. ¿Por qué crees que aprender sobre cromosomas y división celular es importante para tu formación ciudadana?

ANEXO 3. Ejemplos de Modelos 3D para educación

<p>Mitosis (Plana) Ultimaker Thingiverse</p>	<p>https://www.thingiverse.com/thing:2270079</p> 	
<p>Cromosoma Ultimaker Thingiverse</p>	<p>https://www.thingiverse.com/thing:1820314</p> 	
<p>Meiosis</p>		

<p>Cromosoma Ultimaker Thingiverse</p>	<p>https://www.thingiverse.com/thing:2762639</p> 	
<p>ADN y ARN Manipulable Ultimaker Thingiverse</p>	<p>https://www.thingiverse.com/thing:1259352</p> 	

**ADN con
soporte
NIH 3D**

<https://3d.nih.gov/entries/3dpx-000729>



ANEXO 4. Respuestas pretest y postest

Dimensión	Pregunta	Porcentaje (%) de acierto			
		Pretest		Postest	
		Grupo Control	Grupo Experimental	Grupo Control	Grupo Experimental
Conocimientos básicos	1. ¿Qué es un cromosoma?	66	60	91	100
	2. ¿Qué células tienen cromosomas sexuales?	38	43	30	52
	3. ¿Cuál es la función del centrómero?	28	43	67	80
	4. ¿En qué fase de la mitosis los cromosomas se alinean en el ecuador de la célula?	61	50	67	96
	5. ¿Cuántas células hijas se producen al final de la meiosis?	22	57	72	92
	6. ¿Por qué es crucial la fase de la Profase I en la meiosis para la variabilidad genética en los organismos?	42	63	76	88
Comprensión	7. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta sobre la mitosis?	36	37	70	92
	8. ¿Qué diferencia principal existe entre la mitosis y la meiosis?	58	66	72	88
	9. ¿Cuál es el papel de los microtúbulos	25	20	51	76

	durante la mitosis?				
	10. ¿Qué fase de la meiosis es responsable de la variabilidad genética debido al entrecruzamiento (crossing-over)?	25	57	67	88
Aplicación	11. Observa el siguiente esquema de una célula en anafase de mitosis. ¿Qué estructuras deben estar etiquetadas?	50	63	82	92
	12. Si una célula con $2n = 6$ cromosomas se dividen por meiosis, ¿cuántos cromosomas tendrá cada célula hija al final de la meiosis II?	42	37	48	84
	13. En un laboratorio, observas células en diferentes etapas de la mitosis. ¿Qué características identificarías en una célula en telofase?	22	37	54	76
	14. Un organismo diploide tiene un número diploide de 8 cromosomas ($2n = 8$). ¿Cuántos cromosomas tendría un gameto de este organismo?	39	37	70	84
	15. Ordene de menor a mayor	47	37	58	72

	nivel de organización:				
Análisis	16. Si una célula no separa correctamente sus cromosomas durante la anafase de la mitosis, ¿qué podría ocurrir?	39	50	67	92
	17. ¿Qué trastorno genético puede resultar de la no disyunción durante la meiosis?	67	67	70	92
	18. Analiza la siguiente situación: Una célula somática de una persona con síndrome de Down tiene 47 cromosomas en lugar de los 46 normales. ¿En qué fase de la meiosis ocurrió el error y qué tipo de error es?	36	60	33	68
	19. ¿Qué consecuencias puede tener la duplicación de cromosomas durante la replicación del ADN en la fase S del ciclo celular?	22	23	27	56
	20. ¿Cómo afecta la permutación cromosómica a la diversidad genética en una población?	52	53	79	76

