



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Facultad de Ingeniería
Maestría en Didáctica de las Ciencias (Biología)

El modelo didáctico analógico y su impacto en la promoción de funciones ejecutivas en
estudiantes de bachillerato

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el
Grado de Maestra en Didáctica de las Ciencias (Biología)

Presenta

Alina Ysabel Castro Sánchez

Dirigida por

M.D.M. Cecilia Hernández Garcíadiago

Sinodales

Presidente

M.D.M. Cecilia Hernández Garcíadiago

Secretaria

Dra. Anaí del Rocío Campos Contreras

Vocal

Dra. Diana del Carmen Torres Corrales

Suplente

M. en C. Erika Mildred Rodríguez Toledo

Suplente

Dr. Jesús Eduardo Hinojos Ramos

Centro Universitario, Santiago de Querétaro, Querétaro
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario
junio 2025
México

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

Dedicatoria

A Dios, por concederme la salud y la fortaleza necesarias para emprender y concretar este sueño largamente anhelado.

A mi familia, por su amor incondicional, su apoyo constante y por motivarme a seguir adelante.

¡Gracias, Abis, Pumi, Rulis, Noé y Anita!

Agradecimientos

A la **Dirección General del Colegio de Bachilleres del Estado de Guerrero**, mi más sincero reconocimiento por el apoyo institucional brindado durante mis estudios de Maestría en Didáctica de las Ciencias (Biología).

A la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro**, agradezco la oportunidad de cursar este posgrado profesionalizante que me ha permitido adentrarme en un entorno novedoso de herramientas teóricas y metodológicas que me permitirán enfrentar con éxito las demandas académicas de mis estudiantes de bachillerato.

De manera especial, a la **M.D.M. Cecilia Hernández Garcíadiego**, coordinadora del posgrado y directora de esta tesis, le expreso mi profunda gratitud, respeto y admiración por su guía experta, su disponibilidad constante y su gran sensibilidad. Sus enseñanzas trascienden este trabajo.

Agradezco con profundo respeto a la **Dra. Diana del Carmen Torres Corrales, M. en C. Erika Mildred Rodríguez Toledo, Dra. Anaí del Rocío Campos Contreras** y al **Dr. Jesús Eduardo Hinojos Ramos**, integrantes del sínodo de tesis y docentes del posgrado. Cada uno, desde su especialidad, compartió con generosidad sus conocimientos y experiencia, acompañándome y guiándome durante mi proceso formativo. Admiro su pasión por la enseñanza, su profesionalismo, así como la humildad y calidez con las que ejercen su labor. Son inspiración para mi práctica docente y mi crecimiento personal. Gracias por creer en este trabajo.

A todos, mi respeto y agradecimiento por ser parte fundamental de este logro.

Índice

RESUMEN	VI
INTRODUCCIÓN	VIII
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	4
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
2.2 OBJETIVOS.....	5
2.2.1 <i>Objetivo general</i>	5
2.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
2.3 JUSTIFICACIÓN.....	6
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL	8
3.1 DESARROLLO COGNITIVO	8
3.2 FUNCIONES EJECUTIVAS	10
3.2.1. <i>Desarrollo de las funciones ejecutivas</i>	14
3.3 FUNCIONES EJECUTIVAS Y APRENDIZAJE	15
3.3.1 <i>Abordaje de las funciones ejecutivas desde el aula</i>	16
3.4 APRENDIZAJE SUSTENTABLE	17
3.4.1 <i>Aprendizaje con analogías</i>	18
3.5 RESPIRACIÓN CELULAR	21
3.6 DIDÁCTICA DE LA RESPIRACIÓN CELULAR	26
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA.....	28
4.1 FASES GENERALES DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	28
4.2 MUESTRA.....	29
4.3 ESTRATEGIA DIDÁCTICA.....	30
4.3.1. <i>El Modelo Didáctico en el aula</i>	31
4.4. INSTRUMENTOS PARA LA PRODUCCIÓN DATOS	33
4.5 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	37
4.6 CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE CONFIABILIDAD	39
4.7 ORGANIZACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	40
4.7.1 <i>Organización</i>	40
4.7.2 <i>Depuración</i>	41
4.7.3 <i>Análisis</i>	41
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
5.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO	43
5.2 EFECTO DEL MDA SOBRE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS	44
5.3 EFECTO DEL MDA SOBRE EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS BÁSICOS DE LA RESPIRACIÓN CELULAR.....	49
5.3.1 <i>Primera sesión: momento anecdótico</i>	50
5.3.2 <i>Segunda sesión: momento de conceptualización</i>	53
5.3.3 <i>Tercera sesión: momento de correlación conceptual</i>	55
5.3.4 <i>Momento de metacognición</i>	58
5.4 CONSTRUCCIÓN DEL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR Y USO DE VOCABULARIO CIENTÍFICO	59
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	62
6.1 EFECTO DEL MDA EN EL DESARROLLO DE FUNCIONES EJECUTIVAS	62
6.2 EFECTO DE LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS BÁSICOS	63

6.2.1 Diferencias entre las capacitaciones	64
6.3 IMPLICACIONES METODOLÓGICAS DEL ESTUDIO DE CASO	65
6.4 IMPLICACIONES TEÓRICAS Y METODOLÓGICAS DEL MDA.....	66
6.5. PROSPECTOS DE INVESTIGACIÓN	67
REFERENCIAS	69
ANEXOS	79
ANEXO 1. CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO DE LOS PADRES Y TUTORES LEGALES DE LOS PARTICIPANTES.....	79
ANEXO 2. FORMATO DE ESCALA AUTOINFORME PARA MEDIR FLEXIBILIDAD COGNITIVA Y MEMORIA DE TRABAJO	81
ANEXO 3. CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE LA ESCALA PARA MEDIR FLEXIBILIDAD COGNITIVA Y MEMORIA DE TRABAJO EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO.....	82

Índice de tablas y figuras

TABLA 1. FUNCIONES EJECUTIVAS Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	11
TABLA 2. ETAPAS DE LA RESPIRACIÓN CELULAR Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	24
TABLA 3. FASES DEL MODELO DIDÁCTICO ANALÓGICO	31
TABLA 4. ESCALA AUTOINFORME PARA MEDIR FLEXIBILIDAD COGNITIVA Y MEMORIA DE TRABAJO EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO	35
TABLA 5. CATEGORÍAS DE RESPUESTA DE LA ESCALA AUTOINFORME TIPO LIKERT PARA MEDIR	36
TABLA 6. FECHAS DE IMPLEMENTACIÓN Y REGLAS DE EJECUCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS EMPLEADOS	38
TABLA 7. FRECUENCIAS Y PORCENTAJES DE LAS CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS	43
TABLA 8. RESULTADOS DESCRIPTIVOS DEL PRETEST Y POSTEST PARA FLEXIBILIDAD COGNITIVA	45
TABLA 9. RESULTADOS DESCRIPTIVOS DEL PRETEST Y POSTEST PARA MEMORIA DE TRABAJO NUMÉRICA	47
TABLA 10. RESULTADOS DESCRIPTIVOS DEL PRETEST Y POSTEST PARA MEMORIA DE TRABAJO VERBAL.....	48
TABLA 11. CARACTERÍSTICAS DE LA CANCHA DE FÚTBOL	51
TABLA 12. INTERACCIONES COMUNICATIVAS ENTRE LOS ESTUDIANTES DURANTE EL MOMENTO ANECDÓTICO	52
TABLA 13. CUADRO DE CONCEPTUALIZACIÓN SOBRE LA ANALOGÍA	53
TABLA 14. CUADRO DE CORRELACIONES ENTRE EL PARTIDO DE FÚTBOL Y LA RESPIRACIÓN CELULAR.	56
TABLA 15. CUADRO DE CORRELACIÓN ENTRE LOS PROCESOS DE LA RESPIRACIÓN CELULAR Y SUS ANÁLOGOS EN EL JUEGO DE FÚTBOL.	57
FIGURA 1 MODELO MULTICOMPONENTE PARA LA MEMORIA DE TRABAJO.....	13
FIGURA 2 ESTRUCTURA MITOCONDRIAL	23
FIGURA 3 REPRESENTACIÓN ARTÍSTICA DE UN CORTE TRANSVERSAL DE UNA MITOCONDRIA	26
FIGURA 4 PORCENTAJE DE MEJORA EN LAS FUNCIONES EJECUTIVAS TRAS LA INTERVENCIÓN DIDÁCTICA.....	49
FIGURA 5 EL POLIDEPORTIVO Y LAS ÁREAS QUE LO CONFORMAN	51

Resumen

Las funciones ejecutivas son habilidades cognitivas de orden superior que controlan y regulan procesos de pensamiento y acciones asociadas. Diversas investigaciones han mostrado correlaciones positivas entre las funciones ejecutivas y el rendimiento escolar en infantes y adultos. Sin embargo, son pocas las que han estudiado la influencia de la práctica pedagógica en la promoción de las capacidades ejecutivas en adolescentes. La presente investigación tiene como objetivo analizar el efecto de la implementación de un Modelo Didáctico Analógico (MDA) en la promoción de dos funciones ejecutivas (flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo) y en el aprendizaje de conceptos básicos sobre la respiración celular en estudiantes del Colegio de Bachilleres Guerrero, plantel Chilpancingo, quienes cursan la asignatura de Biología II en las capacitaciones para el trabajo de Informática y de Contabilidad. La investigación tuvo como marco teórico el Modelo de Aprendizaje Cognitivo Consciente Sustentable (MACCS, Galagovsky, 2004a/2004b), se abordó con enfoque mixto, alcance descriptivo y utilizó como método un estudio de caso. Los instrumentos empleados para la producción y recolección de datos fueron una escala autoinforme para evaluar flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo, hojas de trabajo del MDA, observación participante y registro de datos complementarios. El análisis de datos se llevó a cabo en dos niveles: descriptivo e interpretativo. El primero implicó la estadística descriptiva de los datos obtenidos en el pretest y posttest; el segundo, el análisis de contenido interpretativo de las producciones escritas y orales de los estudiantes. Los hallazgos obtenidos muestran un impacto positivo de la estrategia didáctica sobre la autopercepción de las dos habilidades evaluadas tras la intervención didáctica. Sin embargo, se identificó un desempeño diferencial en el procesamiento y comprensión de la información científica en función de la capacitación que cursan los participantes.

Palabras clave:

Funciones ejecutivas, enseñanza de la biología, analogías, bachillerato.

Abstract

Executive functions are higher-order cognitive skills that control and regulate processes and associated actions. Various studies have shown positive correlations between executive functions and academic performance in both children and adults. However, few studies have explored the influence of pedagogical practice on the development of executive skills in adolescents. This research aims to analyze the impact of implementing a Didactical Analogical Model (DAM) on the promotion of two executive functions (cognitive flexibility and working memory) as well as on the learning of basic concepts about cellular respiration in students from Colegio de Bachilleres Guerrero (high school), campus Chilpancingo, who were enrolled in the Biology II course within the vocational training programs for Informatics and Accounting. The theoretical framework of this study was based on the Sustainable Cognitive Model of Conscientious Learning (SCMCL). A mixed methods approach was used, with a descriptive scope and a case study as the research method. The instruments used for data collection included a self-perception scale to assess cognitive flexibility and working memory, DAM worksheets, participant observation, and complementary data records. Data analysis was carried out on two levels: descriptive and interpretive. The first involved descriptive statistics of the pretest and posttest data; the second consisted of interpretive content analysis of students' written and oral productions. The findings show a positive impact of the didactic strategy on students' self-perception of the two evaluated skills following the educational intervention. However, a differentiated performance was identified in the processing and understanding of scientific information depending on the training program the participants were enrolled in.

Keywords:

Executive functions, biology teaching, analogies, high school.

Introducción

El presente estudio aborda el diseño, implementación y análisis de una intervención en el aula basada en un Modelo Didáctico Analógico (MDA), orientado a la enseñanza y el aprendizaje de la respiración celular en estudiantes de bachillerato. Este modelo busca no solo facilitar el aprendizaje de conceptos científicos complejos, sino también promover el desarrollo de funciones ejecutivas, habilidades cognitivas de orden superior que controlan el pensamiento y las acciones asociadas.

La enseñanza de la respiración celular en el nivel medio superior representa un reto tanto para docentes como para estudiantes. Es un tema curricular que involucra procesos bioquímicos abstractos, gran cantidad de detalles técnicos y un lenguaje científico especializado, lo que dificulta su comprensión (Quesada, 2011). A ello se agregan obstáculos epistemológicos y ontológicos que demandan estrategias didácticas eficaces para ser superados. En este contexto, es necesario diseñar experiencias de aprendizaje que integren el diseño y uso de analogías para facilitar la comprensión conceptual, además de fortalecer el funcionamiento cognitivo de los adolescentes.

En los últimos años, diversas investigaciones han señalado la relevancia de las funciones ejecutivas (como la flexibilidad cognitiva, la memoria de trabajo, la planificación y el control inhibitorio) en el ámbito educativo. No obstante, existe escasa literatura que vincule explícitamente el desarrollo de estas funciones con el aprendizaje de contenidos disciplinares específicos. En particular, son pocos los estudios que exploran cómo una estrategia o recurso didáctico puede impactar en la adquisición de conocimientos científicos y en el desarrollo de dichas habilidades cognitivas.

Este trabajo se desarrolla con un enfoque mixto, un alcance descriptivo, y utiliza como método de investigación el estudio de caso. La intervención se aplicó a un grupo de estudiantes de bachillerato, pertenecientes a dos áreas de formación para el trabajo (Informática y Contabilidad) con el objetivo de analizar el impacto del MDA tanto en el

aprendizaje de conceptos básicos como en el desarrollo de funciones ejecutivas, considerando las posibles diferencias entre ambas capacitaciones.

Para proporcionar una visión integral del proceso seguido, este documento se organiza de la siguiente manera:

En el **Capítulo 1** se desarrollan los antecedentes de esta investigación. Se revisa la literatura relacionada con las estrategias de intervención en el ámbito escolar para promover el funcionamiento ejecutivo en niños y adolescentes.

En el **Capítulo 2** se expone la justificación del estudio, se plantea el problema de investigación, los objetivos y la pregunta guía del trabajo.

En el **Capítulo 3** se presenta el marco teórico que sustenta la investigación. Se aborda la relación entre el desarrollo cognitivo y las funciones ejecutivas desde la perspectiva sociocultural, el aprendizaje sustentable, así como la respiración celular y su didáctica.

En el **Capítulo 4** se describe la metodología empleada. Se detallan las fases del estudio de caso, el diseño y la implementación del MDA, las características de la población de estudio, los instrumentos de producción y recolección de datos, y los criterios de análisis.

En el **Capítulo 5** se analizan los resultados obtenidos a partir de la intervención didáctica, destacando su impacto en la flexibilidad cognitiva y en la memoria de trabajo, así como en el aprendizaje de conceptos básicos de la respiración celular.

Finalmente, en el **Capítulo 6** se presentan las conclusiones generales, reflexionando sobre los aportes de la investigación, sus limitaciones y posibles líneas de trabajo futuro.

Capítulo I. Antecedentes

El constructo teórico funciones ejecutivas hace referencia a un conjunto de procesos cognitivos necesarios para el control y la regulación del pensamiento y las acciones asociadas a la consecución de metas en diferentes contextos (Jacob y Parkinson, 2015). Las funciones ejecutivas se han relacionado con el rendimiento académico (Diamond y Ling, 2016), incluso se consideran un predictor de éxito, más que el índice de inteligencia (Blair y Razza, 2007). Varios autores han planteado asociaciones teóricas y empíricas entre capacidades ejecutivas específicas y componentes de la habilidad lectora (Cirino et al., 2019), ortográfica (Moreno et al., 2022) y matemática (Bull y Lee, 2014), e incluso, con el aprendizaje de ciencias en niños en edad escolar (García, 2012).

Las funciones ejecutivas pueden ser estimuladas o entrenadas y su mejora se asocia con un impacto positivo en la salud mental, las relaciones sociales entre pares y el rendimiento escolar (Sheese y Lipina, 2011). En este sentido, los programas de intervención tienen como objetivo mejorar el desempeño en tareas cognitivas complejas como control inhibitorio, memoria de trabajo, flexibilidad cognitiva, fluidez verbal, organización y planificación, toma de decisiones y solución de problemas, entre otros (Diamond y Lee, 2011; Muchiut et al., 2024), para ello, se valen de abordajes o estrategias provenientes del ámbito clínico y/o terapéutico (Muchiut et al., 2021; Pandey et al., 2018). Dichos programas se han implementado en población infantil (en etapa preescolar y escolar) y en adolescentes entre 12 y 14 años que cursan la educación secundaria.

Por ejemplo, dentro de las estrategias de intervención en infantes de nivel preescolar y escolar, así como en estudiantes de secundaria, se encuentran: a) el entrenamiento cognitivo a través de actividades o tareas específicas de funciones ejecutivas concretas (Sivó, 2016, como se citó en Jiménez-Puig et al., 2019); b) el currículo escolar, donde se enfatiza el juego simbólico o las habilidades artísticas y socioemocionales, como es el método Montessori o *Tools of the mind* (Diamond y Lee, 2011); c) la incorporación de tecnología, donde se explora el uso de juegos o programas computacionales que incrementan progresivamente las demandas de la memoria de trabajo o del control inhibitorio cuando se utilizan de manera

individual o en equipo (Klingberg et al., 2005; Thorell et al., 2009); d) la práctica de actividades corporales específicas como el control de la postura y la respiración, a través del entrenamiento de yoga, (Martín-Martínez et al., 2015) o de *Mindfulness* (Lori, 2021); entre otros.

De manera contrastante, cuando se realizó la búsqueda de literatura sobre intervenciones que promuevan el desarrollo de funciones ejecutivas en adolescentes que cursan la educación media superior, se encontraron pocos reportes. Entre ellos se citan:

El basado en el modelado o enseñanza explícita; Yoldi et al. (2019) describen una propuesta de intervención realizada en un instituto público de la ciudad de Montevideo, Uruguay con estudiantes de Física, donde las habilidades de planeación y organización se enseñaron de forma explícita y sistemática a través de la realización de trabajos prácticos de investigación conformados en equipos colaborativos, los cuales estuvieron supervisados en tutorías, con apoyo de portafolios, materiales de lectura y rúbricas. La intervención tuvo una duración de cinco meses y comprendió dos fases: una de ellas se centró en el diagnóstico y valoración de los efectos propios de la intervención, para lo cual se aplicó el protocolo *Brief* y la prueba de *Wisconsin* tanto al grupo experimental como al de control. Los resultados obtenidos sugieren una mejora en la planeación y organización del grupo experimental posterior a la intervención. La otra fase se enfocó en la evaluación de los conocimientos de Física adquiridos, para ello se aplicó la prueba *Force concept inventory* la cual indicó que la intervención no generó un impacto positivo en la adquisición conceptual de la noción fuerza-movimiento.

El empleo de prácticas de robótica educativa que demandan la participación colaborativa de los estudiantes; Araújo y Azoni (2020) evaluaron el impacto de estas prácticas en la flexibilidad cognitiva, control inhibitorio, memoria de trabajo y la capacidad de planificación en alumnos de la asignatura de Talleres Educativos de dos colegios privados de la ciudad de Natal, en Brasil. Esta intervención utilizó como herramienta pedagógica el kit *LEGO Mindstorms® Educational Robotics* con el cual los alumnos conformados en equipos colaborativos diseñaron y construyeron un sistema robotizado que enfrentó diversos

retos de programación. Este entorno de aprendizaje tecnológico implicó 36 clases de 60 minutos cada una, y permitió la rotación de roles entre los participantes en cada sesión, a saber: programador, organizador, ensamblador o líder del equipo. La investigación tuvo un enfoque metodológico cuantitativo, con pretest y posttest con grupo de control. Se emplearon como instrumentos de evaluación las Pruebas de Clasificación de Cartas de Wisconsin, de los Cinco Dígitos, de los Cubos de Corsi, y de la Torre de Londres, respectivamente. Los resultados obtenidos revelan mejoras significativas en las funciones ejecutivas: control inhibitorio, flexibilidad cognitiva y planificación, no así en la memoria de trabajo.

El diseño de una estrategia pedagógica transversal basada en los principios de la neuroeducación; Codina et al. (2022) plantean una estructura didáctica con aplicación en diversas asignaturas curriculares y dirigida al desarrollo del control inhibitorio como indicador del funcionamiento ejecutivo. Esta interrelaciona elementos atribuibles a las funciones ejecutivas, como gestión emocional y autocontrol, trabajo colaborativo y metacognición, con estrategias de aprendizaje significativas como gamificación y narrativa. La investigación se realizó en una institución privada de educación secundaria en Barcelona, España, con estudiantes de la materia de Literatura Inglesa. Tuvo un diseño no experimental de tipo pretest-posttest con un solo grupo, y se utilizó la prueba de Stroop de colores y palabras como herramienta para evaluar el desempeño del control inhibitorio cognitivo en los estudiantes adolescentes. La referencia no señala los resultados obtenidos.

Capítulo II. Descripción del problema y justificación

2.1 Descripción del problema

La relación entre funciones ejecutivas y rendimiento académico ha sido objeto de numerosas investigaciones, pero pocas han analizado el impacto de la práctica pedagógica en el desarrollo ejecutivo.

El desarrollo de las funciones ejecutivas se extiende desde el primer año de vida hasta la adolescencia tardía, y para algunas habilidades, hasta la adultez temprana (Flores et al., 2014). Este proceso consta de tres estadios críticos, los cuales se caracterizan por una alta plasticidad cerebral que permite la promoción del funcionamiento ejecutivo (Romine y Reynolds, 2005). El primero de ellos tiene lugar entre los 6 y 8 años, el segundo entre los 10 y 12 años y el último, entre los 15 y 19 años (Korzeniowski, 2011). Estos estadios coinciden con los periodos de escolarización obligatoria en México.

Dado que la adolescencia es un momento clave para el desarrollo cognitivo, es relevante examinar la relación multicitada, en el nivel educativo medio superior. En este ámbito, la escasa literatura al respecto reporta la implementación de intervenciones enfocadas en la enseñanza directa y explícita o en el modelado por parte del profesor de funciones ejecutivas como la planificación, la organización o el control inhibitorio. La evaluación del desempeño ejecutivo posterior a las intervenciones se realiza mediante pruebas neuropsicológicas, las cuales son instrumentos de rendimiento específico que evalúan las habilidades ejecutivas de manera referenciada, utilizando criterios que comparan el desempeño de un individuo con estándares previamente establecidos, los cuales se alejan del contexto escolar, y por ello, se consideran carentes de validez ecológica (González-Medina y Rodríguez-García).

Con base en Yoldi (2015), los pocos estudios que existen referente a la estimulación de funciones ejecutivas desde el ámbito escolar emplean pruebas diagnósticas artificiales, no ecológicas, porque las situaciones que se plantean no pertenecen a la vida real. Dentro de

estas pruebas están los cuestionarios dirigidos a los padres de familia, a los docentes y a los propios sujetos de estudio; sin embargo, estos instrumentos no consideran la capacidad de autoconocimiento de los participantes. Por ello, no reflejan de manera precisa cómo los individuos utilizan sus habilidades ejecutivas en entornos educativos auténticos.

Por todo lo anterior expuesto, **la pregunta central** de esta investigación es: ¿cómo afecta la implementación de un Modelo Didáctico Analógico (MDA) al desarrollo de funciones ejecutivas y al aprendizaje de conceptos básicos sobre respiración celular en estudiantes del Colegio de bachilleres Guerrero?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Analizar los efectos de la implementación de un Modelo Didáctico Analógico (MDA) en el desarrollo de dos funciones ejecutivas (flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo) y en el aprendizaje de conceptos básicos sobre respiración celular en estudiantes del Colegio de Bachilleres Guerrero, Plantel Chilpancingo.

2.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar una analogía para la enseñanza-aprendizaje de la respiración celular y una planeación didáctica regida por los lineamientos del MDA.
- Mostrar el estado de la flexibilidad cognitiva y la memoria de trabajo (numérica y verbal) en los estudiantes de las capacitaciones de Informática y Contabilidad antes y después de la implementación del MDA.
- Evaluar la efectividad del aprendizaje de los estudiantes de las capacitaciones de Informática y Contabilidad tras la intervención didáctica a través del uso del lenguaje científico y el desarrollo de logros conceptuales sobre la respiración celular.

2.3 Justificación

De acuerdo con Araújo y Azoni (2020), Muchiut et al. (2021, 2024), Yoldi (2019), entre otros, las funciones ejecutivas son susceptibles de ser estimuladas en el contexto educativo. Por ello, en la presente investigación se busca aprovechar dichas oportunidades, así como las características que presentan los estudiantes en la adolescencia, un periodo sensible en su desarrollo y proceso formativo, para proponer una intervención ecológica basada en una estrategia didáctica diseñada desde el marco del Modelo Cognitivo Consciente Sustentable (MCCS). Se enfatiza el carácter ecológico de la intervención, ya que se favorecerán las interacciones entre los estudiantes y su entorno de aprendizaje durante los diferentes momentos didácticos que plantea esta investigación.

Con esta estrategia didáctica se pretende estudiar si desde el trabajo en el aula, empleando un contenido curricular específico, se puede incidir en el desarrollo del funcionamiento ejecutivo de un grupo de estudiantes de bachillerato. Para ello, se plantea el diseño e implementación de un modelo didáctico basado en el uso de analogías que buscan facilitar el aprendizaje de conceptos básicos sobre la respiración celular, y a su vez, fomentar de manera indirecta el desarrollo de dos funciones ejecutivas centrales en estudiantes del Colegio de Bachilleres Guerrero (Cobach-Gro), plantel Chilpancingo, quienes cursan la asignatura de Biología II en las capacitaciones para el trabajo de Informática y Contabilidad. Las funciones ejecutivas son la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva. La primera hace referencia a la capacidad de mantener y manipular información de manera temporal con la intención de realizar tareas cognitivas complejas; la segunda, es la habilidad para adaptarse a situaciones cambiantes (Diamond, 2013).

Se seleccionó el uso de analogías como estrategia de aprendizaje debido a su potencial y pertinencia didáctica en el campo de la Biología, ya que promueve el pensamiento analógico, fomenta la comunicación entre pares, estimula la creatividad y la reflexión metacognitiva (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Galagovsky y Greco, 2009).

Los resultados de esta investigación pueden tener implicaciones significativas para propiciar el desarrollo de las funciones ejecutivas en el aula, desde la práctica pedagógica, en un periodo clave para el desarrollo social, emocional, físico y cognitivo de los jóvenes estudiantes de bachillerato. Se justifica la asignación de recursos humanos y materiales para la realización de esta investigación con el fin de contribuir al avance del conocimiento y a la mejora de la calidad educativa en el contexto específico abordado en este estudio.

Capítulo III. Marco teórico/conceptual

En este capítulo se desarrolla la conceptualización de las funciones ejecutivas y su relevancia en el ámbito escolar, así como el eje teórico de la didáctica de las ciencias que sustenta la presente investigación: el Modelo de Aprendizaje Cognitivo Consciente Sustentable (MACCS).

3.1 Desarrollo cognitivo

Desde la perspectiva sociocultural, el aprendizaje y el desarrollo cognitivo tienen un origen cultural y un carácter metodológico que tiene que ver con la acción mediada por herramientas y signos (Ávila, 2018), entre los que destaca principalmente el lenguaje. Este, como instrumento mediador de las funciones psicológicas, facilita la interacción entre individuos y la construcción compartida de significados (Martínez, 1999).

De acuerdo con Vygotski (1979, como se citó en Martínez, 1999), los procesos de aprendizaje y desarrollo interno están estrechamente vinculados; el aprendizaje organizado se convierte en desarrollo mental y pone en marcha una serie de procesos intelectuales que no podrían darse plenamente sin la exposición a experiencias de aprendizaje. Así, el aprendizaje es un aspecto universal y necesario del desarrollo culturalmente organizado y específicamente humano de las funciones psicológicas.

Vygotski (1979) define el desarrollo cognitivo como un proceso dinámico a través del cual las capacidades elementales o naturales, se transforman en funciones psicológicas superiores. Las primeras, biológicamente determinadas, como la percepción, las operaciones sensorio-motrices, la atención y la memoria, se transforman por influencia de factores como la socialización, la educación y la cultura, especialmente a través del uso del lenguaje, en capacidades mentales superiores como la autorregulación creciente de procesos y funciones (como se citó en Peredo, 2019), la atención voluntaria, la formación de conceptos, la memoria lógica (Kozulin, 2000) entre otras. Las funciones psicológicas superiores emergen cuando el individuo puede emplear estímulos autogenerados (proceso de internalización) que le permiten regular su acción y no depender ya de estímulos externos. En el desarrollo estas

funciones psicológicas elementales se coordinan en un proceso global para permitir al sujeto dominar y controlar su propio comportamiento, dando lugar al surgimiento de la conciencia, mediante la intervención de instrumentos de mediación semiótica (Martínez, 1999).

Para comprender el proceso del desarrollo cognitivo de un individuo, Miyake et al. (2000) proponen un modelo basado en habilidades reguladoras denominadas funciones ejecutivas, entre las que se encuentran la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y el control inhibitorio. Las funciones ejecutivas permiten la resolución intencionada de problemas y una conducta adaptativa en diversas situaciones. Grau y Moreira (2014) destacan la convergencia entre los constructos funciones ejecutivas y funciones mentales superiores, enfatizando la relación directa entre el sistema de control de las funciones ejecutivas y el sistema supervisor de Vygotski, el cual implica la capacidad de anular respuestas automáticas en favor de acciones basadas en planes e intenciones.

La habilidad regulatoria de las funciones ejecutivas esencial para completar tareas académicas y actividades diarias tiene su fundamento en la noción de autorregulación de Vygotski. Este concepto ha experimentado una evolución hacia el término funciones ejecutivas en el discurso científico actual (Peredo, 2019). Vygotski y Luria resaltan la relevancia de comprender la autorregulación como un conjunto de habilidades mentales que se desarrollan en contextos específicos de actividades, respaldando así la concepción de que las funciones ejecutivas desempeñan un papel clave en el funcionamiento mental superior (Grau y Moreira, 2014). En concordancia con la tradición sociocultural, las definiciones actuales asociadas a funciones ejecutivas y autorregulación están enmarcadas en términos del desarrollo y el control de conductas voluntarias a través del uso de herramientas culturales, principalmente de naturaleza lingüística (Ávila, 2018).

Diversas investigaciones teóricas y empíricas han sentado las bases para una mejor comprensión del papel de las funciones ejecutivas en el aprendizaje y la conducta. A continuación, se proporciona información al respecto.

3.2 Funciones ejecutivas

Bajo el paradigma del enfoque sociocultural, las funciones ejecutivas son concebidas como habilidades mentales de orden superior, autorreguladas, esenciales para el desarrollo y mediadas por el aprendizaje (Veraksa et al., 2020). Estas habilidades desempeñan un papel clave en el control y regulación de los procesos de pensamiento y acciones asociadas (Jacob y Parkinson, 2015); se relacionan con el rendimiento académico (Diamond y Ling, 2016), e incluso, se consideran un predictor de éxito, más que el índice de inteligencia (Carballo, 2019). Para Meltzer et al. (2021), el éxito académico demanda el dominio de procesos como la planificación, la priorización, el establecimiento de metas, el cambio flexible, así como la retención y manipulación de información en la memoria de trabajo. Titz y Karbach (2014), plantean que las funciones ejecutivas además de contribuir al logro académico y a la generación de confianza en el desempeño de los estudiantes en el aula, también permiten el desarrollo de habilidades sociales y de regulación emocional.

Aunado al avance progresivo en el estudio de las funciones ejecutivas existe cierto debate respecto a la naturaleza dimensional del concepto; es decir, algunos autores sostienen que es de carácter unitario, que se manifiesta de diferentes formas dependiendo de las demandas del contexto y que existe un mecanismo subyacente común que explica las variaciones en el funcionamiento ejecutivo y sus disfunciones (Diamond, 2013); otros, postulan su naturaleza multidimensional, cuya estructura estaría conformada por componentes cognitivos diversos, pero relacionados, que actuarían de manera concertada durante la realización de tareas ejecutivas complejas (Miyake et al., 2000). La presente investigación se rige por el modelo multidimensional, en donde Miyake et al. (2012) distinguen tres funciones centrales denominadas memoria de trabajo, control inhibitorio y flexibilidad cognitiva.

La memoria de trabajo se define como un sistema que permite mantener y manipular información de manera temporal, ya sea en formato visual o verbal. Por su parte, el control inhibitorio presupone la capacidad de inhibir respuestas automáticas o dominantes, favoreciendo aquellas que responden a los requerimientos específicos de una tarea (Diamond,

2013). Finalmente, la flexibilidad cognitiva es considerada la habilidad para cambiar de un paradigma perceptual a otro con el fin de adaptarse a las demandas del entorno (Korzeniowky et al., 2017). A partir de estas tres funciones centrales se desarrollan otras capacidades cognitivas de orden superior, como la planeación, el razonamiento, la solución de problemas y la autorregulación, entre otras (Collins y Koechlin, 2012). La tabla I presenta un resumen de las principales funciones ejecutivas y sus características más relevantes.

Tabla 1

Funciones ejecutivas y sus características principales

Funciones ejecutivas	Características
Memoria de trabajo	Almacena y recuerda información de manera temporal para operar con ella mentalmente, incluso cuando el estímulo que la generó ya no está presente perceptivamente (Fernández-Abella et al., 2019). Es una habilidad que facilita la conservación activa y transitoria de una cantidad limitada de información para posteriormente, realizar tareas o procesos mentales complejos como el aprendizaje, el razonamiento y la comprensión (Diamond, 2013; Rojas-Barahona et al., 2017). La capacidad máxima de almacenamiento y manipulación de información en la memoria de trabajo aumenta a partir de la infancia y hasta la adolescencia, como resultado de la maduración y la construcción del conocimiento (Sala y Gobet, 2020).
Control inhibitorio	Regula la atención, los pensamientos y el comportamiento, orientando la conducta hacia el logro de metas y objetivos. Es la base para la regulación emocional (Diamond, 2013; Donovan, 2021). Esta habilidad mejora de manera significativa durante los años escolares y continúa desarrollándose gradualmente a lo largo de la infancia y la adolescencia (Korzeniowsky, 2011).
Flexibilidad cognitiva	Permite cambiar la atención entre tareas o entre objetivos, distinguiendo entre la información irrelevante de una tarea previa y los aspectos relevantes de otra por desarrollar (Monsell, 2003). Es la base del pensamiento divergente, el cambio de perspectiva y la adaptación a un entorno cambiante (Buttelmann y Karbach, 2017). Su desarrollo inicia en el nivel preescolar y continúa incrementándose durante la adolescencia, alcanzando su máximo en la adultez temprana (Moscuen et al., 2018).
Planificación	Implica la capacidad de identificar y organizar una secuencia de eventos con la intención de alcanzar un objetivo (Cristofori et al., 2019). Su intención es guiar y dirigir exitosamente el comportamiento hacia el objetivo, evaluando las diferentes estrategias y alternativas (Lori, 2021). Su

	desarrollo inicia en la infancia, con avances significativos entre los 7 y los 10 años, y continúa de manera gradual durante la adolescencia (Moscuén et al., 2018).
Razonamiento	Constituye la base para los procesos de generalización y abstracción, los cuales posibilitan la creación de conceptos, la resolución de problemas y la creatividad. Comprende la identificación de patrones, el establecimiento de conexiones entre diferentes ideas y la extrapolación de conocimientos a situaciones nuevas. El fortalecimiento de esta habilidad se presenta durante la infancia media y la adultez (Cristofori et al., 2019).
Autorregulación	Habilidad de alto nivel cognitivo que se adquiere y desarrolla con la experiencia y el cúmulo de conocimientos específicos (Korzeniowsky, 2018). Permite monitorear, autogestionar y elaborar estrategias para modular de manera efectiva los pensamientos, las emociones y el comportamiento, con el objetivo de alcanzar metas concretas (Diamond, 2013). Durante la infancia y la adolescencia se presentan cambios importantes en la capacidad de autorregulación; los infantes inician con juicios de certeza y gradualmente van incrementando sus habilidades de monitoreo y control. Su desarrollo tiene un carácter prolongado, extendiéndose hasta la adultez, y se ve influenciado por factores como el entorno educativo y el nivel de escolaridad (Cristofori et al., 2019).

Fuente: Construcción propia.

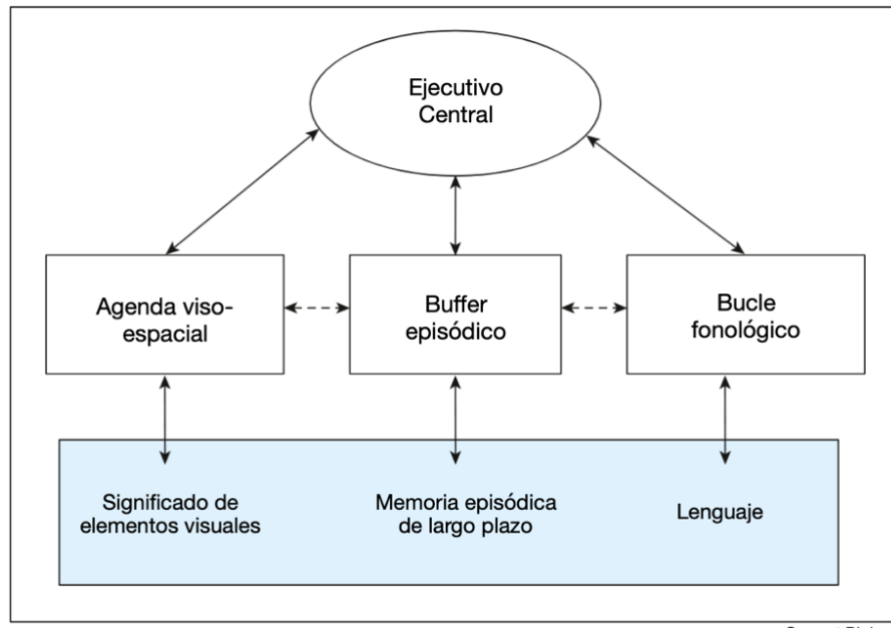
La memoria de trabajo es un requisito esencial para la planificación, selección y ejecución de acciones, ya que estas habilidades están intrínsecamente vinculadas a la capacidad de retener activamente información para posteriormente poder emplearla (Diamond, 2013).

Uno de los marcos teóricos más prominentes relacionado con el estudio de las funciones ejecutivas es el modelo de memoria de trabajo propuesto por Baddeley y Hitch (Baddeley, 2010). Este modelo describe la memoria de trabajo como un sistema conformado por cuatro componentes distintos: un ejecutivo central amodal, sin capacidad de almacenamiento, y tres subsistemas de almacenamiento temporal. Estos subsistemas incluyen: la agenda visoespacial, encargada del almacenamiento de información visual y espacial; el bucle fonológico, responsable del almacenamiento temporal de información verbal; y un buffer episódico, que integra y activa información multidimensional (visual,

auditiva, gustativa y olfativa) desde la memoria de trabajo, necesaria para el procesamiento de una información particular (figura 1).

Figura 1

Modelo multicomponente para la memoria de trabajo



Nota. La figura muestra los cuatro componentes de la memoria de trabajo. Fuente: (Baddeley, 2010).

Con base en el modelo de Baddeley y Hitch (Baddeley, 2010), el sistema de memoria de trabajo posibilita la generación de diversas opciones en la mente, lo cual puede conceptualizarse como flexibilidad cognitiva (García, 2012). Para Diamond y Ling (2016), la flexibilidad cognitiva se desarrolla a partir de la memoria de trabajo y el control inhibitorio. Esta capacidad implica la habilidad de modificar la manera de pensar tras recibir nueva información, admitir errores y adaptarse con flexibilidad a cambios en las prioridades o en las demandas provenientes del exterior.

El control inhibitorio se considera una habilidad asociada a la regulación de la atención, la conducta, los pensamientos y/o las emociones para anular impulsos internos y optar por lo más apropiado o necesario. La ausencia del control inhibitorio deja a un

individuo a merced de sus impulsos, hábitos de pensamiento o respuestas automáticas condicionadas, así como a estímulos ambientales que lo impulsan a un proceder particular (Diamond y Ling, 2016). En ese sentido, el control inhibitorio hace posible cambiar o escoger cómo reaccionar o comportarse, en lugar de actuar de manera irreflexiva; este autocontrol se denomina inhibición conductual (Collette et al., 2005).

El control inhibitorio de la atención (control de interferencia en el nivel de percepción) permite atender selectivamente, enfocarse en lo seleccionado y suprimir o ignorar la atención a otro estímulo; también se le conoce como control atencional, inhibición atencional o atención ejecutiva (Diamond, 2013). Otro aspecto del control de interferencia es la supresión de las representaciones mentales dominantes (inhibición cognitiva), lo que implica resistir pensamientos o recuerdos extraños o no deseados, incluido el olvido intencional, así como resistir interferencia proactiva de información adquirida previamente. La inhibición cognitiva está al servicio de la memoria de trabajo (Meltzer et al., 2021).

El funcionamiento ejecutivo es fundamental tanto en las actividades académicas como en la vida diaria de un individuo, ya que influyen en el inicio de tareas, la inhibición de comportamientos no deseados, la selección de acciones para alcanzar objetivos, la elaboración de estrategias para resolver conflictos, la capacidad de analizar y evaluar el propio comportamiento, así como en la organización y dirección de los procesos de memoria (Espy, 2004).

3.2.1. Desarrollo de las funciones ejecutivas

El proceso de desarrollo de las funciones ejecutivas, que abarca desde la infancia hasta la adolescencia y la adultez, se caracteriza por una multiplicidad de estadios, donde diferentes funciones maduran en periodos específicos de la vida (Korzeniowski et al., 2017). La flexibilidad cognitiva, por ejemplo, experimenta su desarrollo a partir de la escolaridad primaria y está estrechamente vinculada con los procesos de inhibición y memoria de trabajo (García, 2012). Asimismo, la estructura modular de la memoria de trabajo se manifiesta desde los seis años, donde cada componente aumenta su capacidad de almacenamiento y

operación durante la adolescencia y la adultez. De acuerdo con Sala y Gobet (2020), esto es reflejo de la maduración y construcción del conocimiento. Para el control inhibitorio, se han reportado datos similares, donde su mejora se presenta de manera significativa durante los años escolares y aumenta de manera progresiva en la infancia y adolescencia (Korzeniowsky et al., 2017).

Romine y Reynolds (2005) destacan tres períodos sensibles específicos relacionados con el desarrollo de las funciones ejecutivas: el primero, entre los 6 y 8 años; el segundo, entre los 10 y 12 años; y el último, entre los 15 y 19 años. Estos periodos coinciden con etapas de escolarización, sugiriendo una interconexión entre el desarrollo del funcionamiento ejecutivo y el aprendizaje escolar (Korzeniowski et al., 2017). Para Portellano (2005), en estas ventanas de tiempo la plasticidad cerebral es mayor, por lo que ofrecen grandes oportunidades para la promoción del funcionamiento ejecutivo a través de experiencias de aprendizaje enriquecedoras.

En investigaciones recientes, se ha observado un creciente interés por comprender los factores que influyen en el desarrollo y desempeño de las funciones ejecutivas en infantes. Entre estos factores se han señalado: la edad, la inteligencia no verbal, el estatus socioeconómico, el nivel educativo de los padres y la calidad del ambiente educativo (Diamond, 2013; Korzeniowsky et al., 2017; Musso, 2010; Veraksa et al., 2020).

3.3 Funciones ejecutivas y aprendizaje

Diversos autores han precisado asociaciones teóricas y empíricas entre las funciones ejecutivas y algunos componentes específicos de la habilidad lectora (Cirino et al., 2019), ortografía (Moreno et al., 2022), del pensamiento matemático (Bull y Lee, 2014) y del aprendizaje de la ciencia en niños y adultos. Las funciones ejecutivas se han relacionado con el aprendizaje factual y conceptual de las ciencias naturales como la Química y la Biología, donde se ha planteado que son necesarias para planificar soluciones, elaborar hipótesis, examinar y evaluar datos, pensar de manera flexible y especular sobre la influencia de manipulaciones experimentales, construir modelos mentales, entre otros aspectos

relacionados con el aprendizaje de las ciencias naturales (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Rhodes et al., 2016).

Para Clair-Thompson y Gathercole (2006), la memoria de trabajo es importante para aprender ciencia en niños entre 11 y 12 años. Rhodes et al. (2016), reportan correlaciones significativas entre la memoria de trabajo verbal y visoespacial y el desempeño en pruebas de química en adolescentes jóvenes (12 y 13 años), así como entre la memoria de trabajo espacial y la planeación con el aprendizaje del conocimiento biológico. Vosniadou et al. (2015) plantean que la inhibición y la flexibilidad cognitiva juegan un papel importante en la construcción y re-organización del conocimiento científico y, por lo tanto, en la adquisición de nuevos conceptos requeridos en la comprensión de la ciencia.

Aunque existen evidencias que respaldan la contribución positiva de las funciones ejecutivas al proceso de aprendizaje académico, no se dispone de información específica sobre el efecto de las estrategias y los recursos didácticos que se emplean en el aula en el desarrollo y promoción de dichas funciones en infantes y adolescentes, en particular en estudiantes del nivel medio superior.

3.3.1 Abordaje de las funciones ejecutivas desde el aula

Las funciones ejecutivas pueden ser entrenadas y su mejora se asocia con el logro de metas particulares. Dentro de los programas de entrenamiento de las habilidades ejecutivas que se han documentado en infantes en edad preescolar y escolar, así como en adolescentes (12 a 14 años de edad) que cursan la educación secundaria se encuentran: el entrenamiento cognitivo basado en la realización de actividades o tareas específicas de funciones ejecutivas concretas (Muchiut et al., 2021); los programas que se basan en el currículo escolar, donde se enfatiza el juego simbólico o las habilidades socioemocionales, como es el método Montessori o *Tools of the mind* (Diamond y Lee, 2011), y los que se enfocan en *Mindfulness*, actividad física, yoga, cultura o teatro (Martín-Martínez et al., 2015; Muchiut et al., 2018; Sánchez-Macías et al., 2021).

El abordaje del funcionamiento ejecutivo desde el ámbito escolar es relevante por su impacto en el desarrollo cognitivo y su influencia en el éxito académico y en la regulación emocional (Diamond y Lee, 2011). El contexto educativo brinda oportunidades valiosas para crear entornos de aprendizaje que motiven el uso de habilidades ejecutivas a partir de estrategias didácticas que emplee el docente en el aula.

De acuerdo con Yoldi (2015), existen metodologías de enseñanza que poseen un potencial significativo para promover el desarrollo y uso de las funciones ejecutivas. Algunas de estas metodologías incluyen la enseñanza basada en proyectos, la resolución de problemas, las que fomentan el desarrollo del pensamiento crítico y el aprendizaje activo, como son el método Montessori y la gamificación, así como la metodología de clase invertida (Sánchez-Macías y Aparicio-Herguedas, 2021).

3.4 Aprendizaje sustentable

El marco teórico de la didáctica de las ciencias que rige la presente investigación es el Modelo de Aprendizaje Cognitivo Consciente Sustentable (MACCS) (Galagovsky, 2004a, 2004b) que plantea un modelo de aprendizaje simple con profundas implicaciones didácticas y comunicacionales; está basado en simplificaciones de procesos cognitivos complejos y en la anticipación de los posibles obstáculos en el acto comunicacional entre el docente y sus estudiantes. El modelo está enmarcado dentro del aprendizaje constructivista y expresa que el conocimiento lo construye el alumno en su mente.

El aprendizaje sustentable es aquel que se logra cuando un estudiante incorpora con éxito información nueva a su estructura cognitiva consciente. Para ello, es necesario que a partir de consignas apropiadas el estudiante traiga a su mente los conceptos *nexo* que posee, que ya existen en su estructura cognitiva, ya sean erróneos o incompletos, y a partir de actividades de explicitación y discusión con sus pares y con el docente, resignifique esos conceptos *nexos* y sus representaciones mentales originales, lo que le permitirá procesar la información externa recibida y transformarla en conocimiento sustentable (Galagovsky, 2004a, 2004b). De acuerdo con el MACCS, gracias al aprendizaje sustentable, el individuo

enriquece su estructura cognitiva con conocimiento sustentable, cuyos conceptos actuarán como nuevos conceptos *sostén*.

Un aspecto fundamental del MACCS se centra en la evaluación de cómo el estudiante configura el aprendizaje en su mente, tanto en términos de qué está aprendiendo como de cómo lo está haciendo. Para ello, es necesario hacer explícitos los procesos cognitivos que el alumno está utilizando mientras construye el aprendizaje, esto implica poner de manifiesto las expresiones sintácticas y la interpretación semántica de las mismas, haciendo uso de diferentes lenguajes como medios de expresión. De esta manera, se busca que el alumno tome conciencia de sus conceptos *nexo*, de sus representaciones mentales, de los conceptos *sostén* apropiados y de los lenguajes que utiliza para comunicarlos. En las clases de ciencia, el desafío actual consiste en comunicar eficientemente las ideas e interpretar las ideas de los demás (Sanmartí et al., 2021). Este modelo de aprendizaje defiende la resignificación y redefinición de los procedimientos de enseñanza y de aprendizaje.

3.4.1 Aprendizaje con analogías

Consideramos que un recurso didáctico con gran potencial para promover el aprendizaje sustentable, vía la estimulación y/o promoción de funciones ejecutivas en estudiantes adolescentes, es la analogía. Es un dispositivo de enseñanza a través del cual se realiza una comparación entre un dominio base, que incluye elementos conocidos o familiares para el sujeto cognoscente, y otro dominio destino, parcial o totalmente desconocido (De Oliva et al., 2001). Distintos tipos de analogías pueden ser identificadas en función de los rasgos propios del dominio base y de la estrategia didáctica que se emplea en el aula. Entre ellos se encuentran las metáforas, los pares de representaciones concretas analogables, los análogos concretos y el MDA (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

Diversos estudios han reportado que el uso de analogías promueve diferentes habilidades, entre ellas: facilita la organización y contextualización de información, mejora la retención, promueve el aprendizaje significativo y desarrolla el pensamiento creativo. Richland y Simms (2015) plantean que las funciones ejecutivas desempeñan un papel central

en el desarrollo de analogías; por ejemplo, que el control inhibitorio y ciertos aspectos de la memoria de trabajo pueden explicar la capacidad de razonamiento analógico en niños y adultos.

Para comprender el papel de las analogías en los procesos de aprendizaje, es importante atender su definición. De acuerdo con Sierra (1995, como se citó en Greco y Galagovsky, 2005):

[Analogía] es un procedimiento cognitivo que consiste en recurrir a un dominio de conocimiento para conocer o comprender mejor otro dominio total o parcialmente desconocido. Es decir, es un procedimiento que permite transferir conocimiento de unas áreas a otras, y que se pone en funcionamiento para generar nuevos aprendizajes (parcial o totalmente desconocidos) apoyándose en conocimientos previos. Este procedimiento desempeña diferentes papeles en el sistema cognitivo humano: se utiliza en tareas de lenguaje, para favorecer la comprensión; en tareas de aprendizaje, para adquirir nuevos conceptos; en tareas de creatividad, para generar nuevas ideas, y en tareas de argumentación para resolver problemas. (p. 1)

La analogía es una herramienta didáctica que permite y facilita la aproximación de los estudiantes al conocimiento científico. Se compone de dos tipos de información: una análoga y otra científica. La primera contiene los referentes mentales (conceptos y situaciones: conceptos sostén) que se movilizan para establecer asociaciones correctas con la información nueva o desconocida que se pretende sea incorporada como aprendizaje (Galagovsky y Greco, 2009).

En el ámbito de la enseñanza de las ciencias naturales, se han desarrollado secuencias y estrategias metodológicas para emplear las analogías de manera sistemática, que redunden en aprendizaje significativo para los estudiantes. Por ejemplo, la secuencia de enseñanza con analogía (TWA, por *Teaching With Analogy*), la secuencia basada en la guía FAR (Foco, Acción y Reflexión) (Raviolo y Lerzo, 2016), y el MDA (Adúriz-Bravo et al., 2005).

3.4.1.1 Modelo didáctico analógico (MDA)

Este modelo didáctico constituye una estrategia innovadora en la enseñanza de la ciencia escolar, está centrado en el uso de analogías. Permite a los estudiantes construir, a partir de sus concepciones previas, conocimiento analógico que se integra en sus estructuras cognitivas. El conocimiento así generado será utilizado posteriormente para procesar y comprender información científica. Además de fomentar la participación de los estudiantes en la construcción y comprensión de analogías, el MDA promueve la comunicación y estimula la reflexión metacognitiva enriqueciendo el proceso de aprendizaje (Galagovsky y Greco, 2009).

De acuerdo con Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001), el MDA inicia con el planteamiento de una situación problemática cuya estructura de resolución será análoga a una situación científica; consta de cuatro momentos didácticos articulados (Galagovsky y Greco, 2009):

1. Momento anecdótico: La analogía se presenta en forma de juego o de problema que los estudiantes deben resolver en pequeños grupos; elaboran soluciones al problema planteado desde sus ideas, conocimientos previos y conceptos conectores. (p. 14)
2. Momento de conceptualización sobre la analogía: Se busca lograr acuerdos sobre los conceptos fundamentales trabajados en la resolución del juego o problema analógico. El docente ayuda a que los estudiantes expresen las soluciones posibles y re-signifiquen palabras con significados ambiguos o alternos. De manera conjunta se procede a elaborar un listado de elementos de la información analógica los cuales posteriormente tendrán su correspondencia con la información científica destino (Adúriz-Bravo et al., 2005).
3. Momento de correlación conceptual: Los estudiantes procesan la información científica encontrándole significado y comprensión por comparación con los significados ya aprendidos en la información analógica, es decir, desde sus conceptos sostén auxiliares (Galagovsky, 2005). En estas dos etapas se hace necesario un instrumento riguroso, detallado y analítico para evidenciar las relaciones conceptuales

y funcionales entre los elementos del dominio base y del dominio destino, este instrumento es la tabla de correlación conceptual.

4. Momento de metacognición: En esta etapa se busca que los estudiantes autorregulen de manera consciente sus procesos cognitivos (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), que puedan identificar los conceptos conectores que construyó, los conceptos erróneos que descartó y las nuevas relaciones aprendidas. Toda actividad metacognitiva es individual, pero se enriquece con el aporte de las otras reflexiones en la puesta en común. (Galagovsky y Greco, 2009, p. 6)

Investigaciones previas (Adúriz-Bravo et al., 2005; Arrese et al., 2020; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Zamorano et al., 2006) han documentado experiencias exitosas en los procesos de enseñanza y aprendizaje de contenidos curriculares de las ciencias mediante la implementación del MDA en el aula. Estos estudios han abarcado diversos niveles educativos, desde educación secundaria (polimodal) con orientación en ciencias naturales hasta educación universitaria. Se ha destacado la mejora en la comprensión de temas curriculares específicos, la habilidad para comunicar información utilizando un vocabulario científico preciso, así como en la capacidad para diseñar modelos simbólicos relacionados con los fenómenos científicos abordados. Además, se ha observado una mayor toma de conciencia por parte de los estudiantes sobre sus logros y limitaciones en el proceso de aprendizaje.

3.5 Respiración celular

El tema curricular que se aborda en la presente intervención didáctica es la respiración celular. A continuación, se describen aspectos relevantes para contextualizar su importancia académica y su relación con los objetivos de aprendizaje.

A principios del siglo XIX prevalecía la idea de la respiración como un proceso físico y externo asociado únicamente al intercambio gaseoso en los pulmones. El modelo moderno de la respiración que lo concibe como un proceso interno que involucra la generación de energía por parte de los seres vivos, a nivel de sus células o tejidos, surge en

el siglo XX a partir de tres grandes eventos: el auge de la teoría celular, la identificación de la glucosa como una de las moléculas principales para la obtención de energía celular, y el reconocimiento de las mitocondrias como organelos responsables del consumo reducido de oxígeno molecular y de la oxidación final de moléculas pequeñas (Ospina, 2019).

Pérgola y Galagovsky (2019) definen respiración celular:

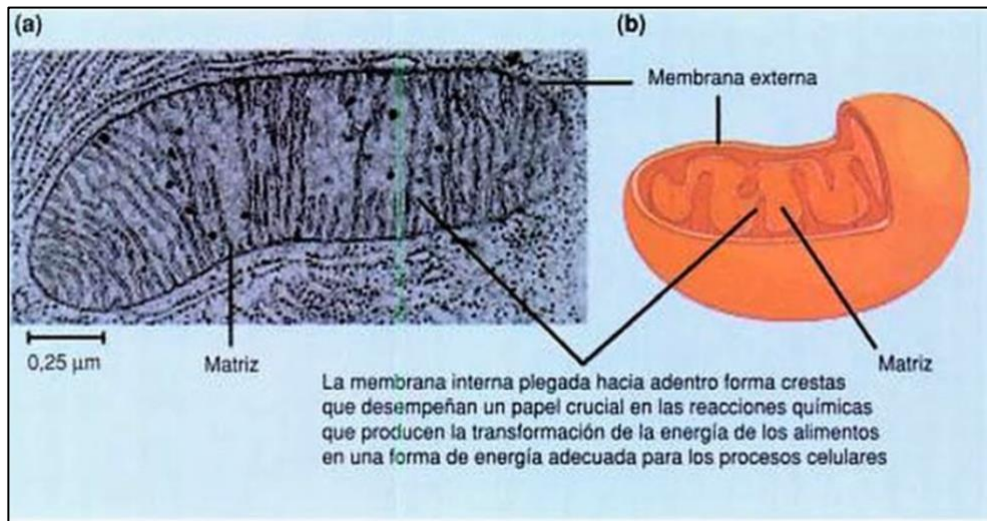
[] proceso que se realiza en las células de todos los seres vivos, donde mediante un conjunto de reacciones bioquímicas se oxidan compuestos orgánicos completamente a dióxido de carbono y agua, generándose ATP durante el proceso. Se presenta como una secuencia de procesos donde intervienen glucosa y oxígeno, que comienzan por la glucólisis, y continúa con el ciclo de Krebs, cadena respiratoria y fosforilación oxidativa. (p.121)

La respiración celular es un complejo sistema de reacciones bioquímicas acopladas que ocurren en diferentes compartimentos celulares. Estas reacciones, mediadas por enzimas, coenzimas y cofactores específicos, implican procesos de óxido-reducción biocontrolados que se acoplan a la generación final de Adenosín Trifosfato (ATP), molécula involucrada en mecanismos reversibles de esterificación, y cuya hidrólisis del segundo y tercer fosfato libera energía utilizable para diversas funciones celulares (Curtis et al., 2022; Ospina, 2019; Pérgola, 2022).

En las células eucariotas, las mitocondrias son los organelos donde se degradan moléculas orgánicas y se produce la mayor parte de la energía liberada de la respiración celular. Estas poseen una forma esférica o cilíndrica, miden entre 1.5 μm de ancho y de 2 a 8 μm de longitud, están delimitadas por dos membranas, una externa lisa y otra más interna, plegada hacia adentro que constituye las crestas mitocondriales, sitio donde ocurren reacciones químicas. Las crestas envuelven la región central denominada matriz mitocondrial (figura 2). En cuanto mayor es el requerimiento energético de una célula, más mitocondrias contiene. En las células procariotas, que no tienen organelos ni estructuras especializadas, la respiración ocurre en la membrana plasmática (Curtis et al., 2022).

Figura 2

Estructura mitocondrial



Nota. Esta figura muestra: (a) Microfotografía. (b) Representación artística de una mitocondria. Fuente: (Curtis et al., 2022: 48).

La estructura morfológica de la mitocondria, caracterizada por su doble membrana lipídica, ayuda a explicar los procesos bioquímicos que suceden durante la respiración de las células eucariotas. La membrana externa de la mitocondria es permeable a iones y moléculas, mientras que la membrana interna, que limita la matriz mitocondrial, es impermeable a las especies con carga y a la mayoría de las moléculas, las cuales solo pueden atravesar la membrana a través de transportadores específicos. Esta permeabilidad selectiva de la capa interna evita el paso libre de enzimas del ciclo de Krebs presentes en la matriz mitocondrial y de intermediarios de las reacciones de oxido-reducción que suceden en dicho proceso (Pérgola, 2022).

Los procesos secuenciales de degradación oxidativa de la glucosa que ocurren durante la respiración celular inician con la glucólisis en el citoplasma y el ciclo de Krebs o ciclo del ácido cítrico en la matriz mitocondrial (el cual está asociado a la formación de moléculas de ATP), continúan con la cadena de transporte de electrones en membrana mitocondrial y con la producción masiva de ATP a través del proceso de fosforilación oxidativa (Pérgola y Galagovsky, 2019).

A continuación, se presenta la información más relevante de cada una de las etapas o procesos que comprende la respiración celular (tabla 2).

Tabla 1

Etapas de la respiración celular y sus características principales

ETAPAS DE LA RESPIRACIÓN CELULAR				
Etapas	Organelo celular	Resumen	Reactivos iniciales	Productos finales
Glucólisis	Citoplasma	Secuencia de reacciones químicas mediante las cuales una molécula de glucosa se desdobla en dos moléculas de piruvato, lo que produce una ganancia de energía de dos moléculas de ATP y dos moléculas del transportador redox NADH. El piruvato formado puede tomar dos vías: aeróbica (presencia de oxígeno) o anaeróbica (sin oxígeno). En caso de suceder la respiración celular aeróbica se procede a la siguiente etapa.	Glucosa, ATP, ADP, P _i , NAD ⁺	Piruvato, ATP, NADH
Formación de Acetil-CoA	Mitocondrias	El piruvato se degrada y combina con un compuesto llamado coenzima A para formar acetil-CoA, con transferencia de átomos de hidrógeno a moléculas transportadoras y liberación de CO ₂ .	Piruvato, Coenzima A, NAD ⁺	Acetil-CoA, CO ₂ , NADH
Ciclo de Krebs	Mitocondrias	Secuencia de procesos en los que el grupo acetilo de la Acetil-CoA se degrada a CO ₂ ; se transfieren átomos de hidrógeno a moléculas portadoras y se sintetiza ATP.	Acetil-CoA, H ₂ O, NAD ⁺ , FAD, ADP, P _i	CO ₂ , NADH, FADH ₂ , ATP

Cadena de transporte de electrones y fosforilación oxidativa	Mitocondrias	Esta etapa comprende la transferencia ordenada de electrones desde un portador respiratorio (complejos proteicos ubicados en la membrana interna) a otro. El aceptor final de los electrones es el oxígeno molecular. Parte de la energía proveniente del trabajo eléctrico generado por la circulación de electrones es utilizada para la traslocación de protones hacia el espacio intermembrana, generándose así un potencial electroquímico a través de la membrana interna mitocondrial que impulsa la actividad de la enzima que efectúa la síntesis de ATP en la matriz mitocondrial, proceso denominado fosforilación oxidativa. Etapa final de la respiración celular y es donde ocurre la mayor síntesis de ATP.	NADH, FADH ₂ O ₂ , ADP, P _i	NAD ⁺ , FAD, H ₂ O, ATP
--------------------------------------------------------------	--------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------

Nota. Las abreviaturas empleadas: ATP: Adenosín Trifosfato, ADP: Adenosín Difosfato, P_i: Fosfato inorgánico. Cofactores como: NADH y NAD⁺: Nicotinamida Adenina Dinucleótido reducido/oxidado, FADH₂, FAD: Flavín Adenín Dinucleótido reducido/oxidado; O₂: Oxígeno molecular, y H₂O: Agua. Fuente: Con base en (Cortés, 2015; Ospina, 2019; Pérgola, 2021).

El modelo actual de la respiración celular da continuidad a los planteamientos propuestos por Michell en la Teoría Quimiosmótica, en referencia a que los procesos bioquímicos implicados se explican a partir de la función y estructura de la doble membrana lipídica mitocondrial. De tal forma que, la energía química producida durante la oxidación de nutrientes no se libera al medio como calor, sino que se utiliza para acoplar el transporte de electrones desde los cofactores reducidos NADH (Nicotinamida Adenina Dinucleótido) y FADH₂ (Flavina Adenina Dinucleótido) con la traslocación de protones desde la matriz mitocondrial hacia el espacio intermembranal. Esto da lugar a la formación de un gradiente electroquímico en la membrana interna mitocondrial o en la membrana plasmática, dependiendo de la célula involucrada (eucariota o procariota, respectivamente). A

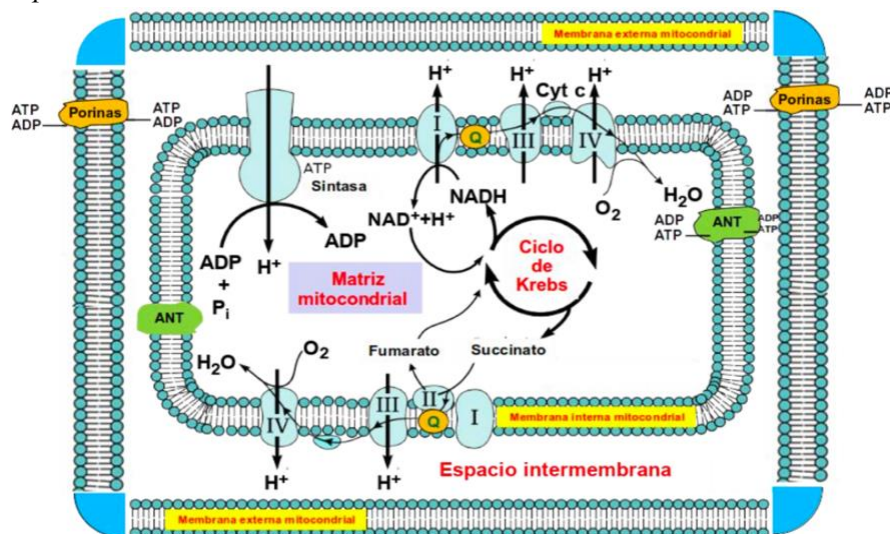
continuación, ese gradiente es empleado por la ATP sintasa, enzima ubicada en la membrana interna mitocondrial, como fuerza motriz para catalizar la síntesis de ATP a partir de ADP y fosfato inorgánico en la matriz mitocondrial (Farina, 2013; Pégola, 2022).

Diversas investigaciones científicas sobre los procesos de fermentación han dilucidado que el transporte de electrones y la traslocación de protones, citados por Michell, requieren la mediación de complejos enzimáticos ubicados en la membrana interna mitocondrial, la participación de los cofactores NADH, FMNH₂ y FADH, así como la acción de citocromos a partir de sus grupos prostéticos de tipo hemo (Ospina, 2019; Pégola, 2022).

La Figura 3. Muestra un esquema simplificado de las estructuras mitocondriales de la membrana interna y algunas de las reacciones involucradas en la respiración celular.

Figura 3

Representación artística de un corte transversal de una mitocondria



Fuente: (Pégola, 2022).

3.6 Didáctica de la respiración celular

La enseñanza y el aprendizaje de los procesos involucrados en la respiración celular presentan dificultades tanto para docentes como para alumnos de diferentes niveles educativos (Garófalo et al., 2014; Pégola, 2022; Salinas, 2020). La naturaleza abstracta de

los procesos, la abundancia de detalles y el empleo de lenguajes científicos hacen que este conocimiento biológico sea particularmente complejo. Así mismo, las concepciones previas de los estudiantes respecto a la respiración celular que incluyen, confusión con la fotosíntesis, con el intercambio de gases, con la forma en que algunos sistemas vivos obtienen energía utilizable, así como el nivel representacional que utilizan para explicarlo, constituyen obstáculos epistemológicos que limitan su aprendizaje (Farina, 2013, Pégola, 2022).

Para Tamayo y Sanmartí (2003), varias de las concepciones erróneas o incompletas de los estudiantes sobre la naturaleza de la respiración celular han sido inducidas o transmitidas por el discurso del profesor, los libros de texto o por las propuestas curriculares del campo de estudio. Por lo tanto, al ser concepciones reforzadas desde el ámbito escolar, pueden ser consideradas como obstáculos ontológicos.

En el ámbito de la didáctica de las ciencias naturales, Quesada (2011) destaca la respiración como un campo conceptual por la complejidad de procesos que involucra. Por lo tanto:

[la respiración celular] es definida como una unidad de estudio centrada en la ubicación o sitios donde se realizan los procesos, los eventos implicados y las funciones o productos intermedios y finales. Comprender el proceso de respiración celular involucra poner en juego conocimientos de la Biología, de la Química y de la Física, y de aquí deriva la complejidad de su aprendizaje. (p. 32)

Varias estrategias y recursos didácticos han sido utilizados para abordar los procesos de la respiración celular, tanto en el nivel bachillerato como universitario. Estos incluyen: combinación de lecturas, construcción de mapas conceptuales, demostraciones, actividades de laboratorio, juegos de roles, así como uso de la analogía entre combustión química y respiración celular (Bergan-Roller et al., 2020; Cortés, 2015). Los resultados reportados parecen consistentemente poco favorables, evidenciados por las puntuaciones obtenidas en los exámenes y la falta de entusiasmo entre los estudiantes participantes.

Capítulo IV. Metodología

La presente investigación se desarrolló con un enfoque mixto, alcance descriptivo y empleó como método un estudio de caso. La elección de este se basó en: el tipo de pregunta de investigación, el poco control que se ejerce sobre los acontecimientos de estudio y su contemporaneidad (Yacuzzi, 2005). Atendiendo las diferentes modalidades de estudio de caso que enuncian Yin (2018), Stake (2005, como se citó en Álvarez y Fabián, 2012) y Yacuzzi (2005), con base en: la función epistemológica que cumple, el número de casos con que trabaja, la finalidad del estudio o focalización en el “caso particular”, y la identificación de subunidades de análisis, esta investigación realizó un estudio de caso descriptivo, múltiple e intrínseco con un enfoque encapsulado, respectivamente.

4.1 Fases generales del método de investigación

Siguiendo los planteamientos de Martínez (1988) y Álvarez y Fabián (2012), el estudio de caso se abordó en tres fases generales, a saber:

1. **Preactiva**, donde se delimitó la investigación, se establecieron los objetivos del estudio y se realizó la selección y/o diseño de los recursos, materiales y estrategias necesarias para el proceso de investigación.
2. **Interactiva**, comprendió la negociación y el acceso al campo, la implementación del MDA en el aula, la producción y recolección de datos (encuestación, análisis de contenido y observación participante), así como el empleo de las estrategias de saturación de información y triangulación de métodos para garantizar el rigor y la credibilidad de los datos, procesos y resultados de este estudio de caso.

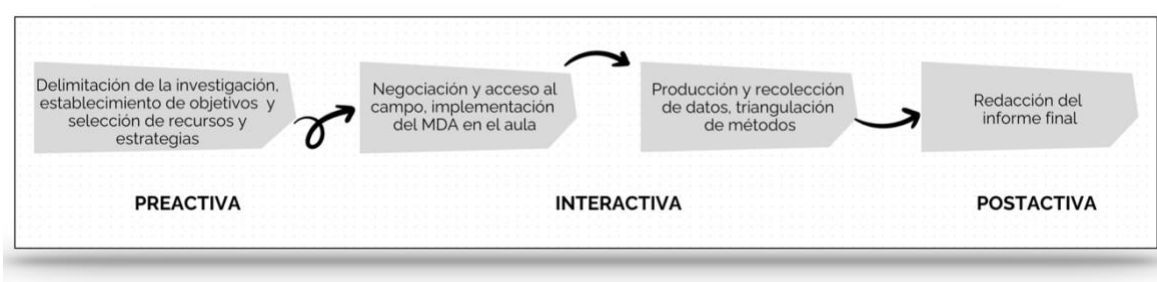
En la negociación y acceso al campo se solicitaron los permisos correspondientes para la toma de datos en el Cobach-Gro, plantel Chilpancingo, el permiso para utilizar la escala para medir flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo en estudiantes de bachillerato (González-Medina y Rodríguez-García, 2022), así como el diseño y la socialización del acuerdo de confidencialidad y tratamiento de información para la toma de datos. Para la recolección de información se utilizó: a) la escala en formato autoinforme tipo Likert de cinco puntos, la cual fue empleada como pretest y postest; b)

las producciones escritas individuales y en equipo (hojas de trabajo) generadas, las cuales posteriormente, fueron analizadas; c) registro anecdótico y la toma de fotografías y grabaciones en video de las sesiones de trabajo en el aula, las cuales se transcriben de acuerdo con los intereses de la investigación (el procedimiento de transcripción se detalla en la sección 4.7.1).

3. **Post-activa**, donde se redactó el informe final y las reflexiones críticas sobre el caso estudiado, así como las posibles aportaciones al campo de la didáctica de la Biología (figura 4).

Figura 4

Esquema de las fases del estudio de caso empleado



Fuente: Con base en (Martínez, 1988; Álvarez y Fabián, 2012).

4.2 Muestra

La muestra estuvo conformada por 25 estudiantes inscritos en el segundo grado de bachillerato en el Cobach-Gro, Plantel Chilpancingo, turno vespertino, en el semestre escolar 2024-1. Al momento de la intervención cursaban la asignatura de Biología II (del componente de formación básica del plan de estudios vigente del Bachillerato General de Secretaría de Educación Pública) en las capacitaciones para el trabajo de Informática y Contabilidad; 12 estudiantes pertenecían a la capacitación de Informática (3 mujeres y 9 hombres) y 13 a Contabilidad (7 mujeres y 6 hombres). Todos ellos conformaron el grupo de intervención.

La edad promedio de los estudiantes oscilaba entre los 16 y 18 años, por lo que su participación en la investigación estuvo determinada por la autorización y consentimiento informado de sus padres o tutores (anexo 1).

Es relevante señalar que la asignación de estudiantes a las capacitaciones que se imparten en la institución es responsabilidad de los departamentos de Servicios Escolares y Orientación Educativa. En consecuencia, para efectos del estudio, se tuvo acceso a grupos ya formados para un intervalo de tiempo dado (semestre escolar), por lo que se trató de un muestreo no probabilístico seleccionado por conveniencia.

4.3 Estrategia didáctica

La fase experimental se realizó del 26 de febrero al 6 de marzo de 2024, comprendió seis sesiones de trabajo en el aula de 40 minutos cada una, distribuidas en dos semanas; dos sesiones fueron empleadas para la aplicación del pretest y posttest y cuatro para la intervención didáctica en el aula, donde estuvieron presentes los 25 participantes (de Informática y Contabilidad). A todos ellos se les informó el objetivo y la metodología de trabajo sin profundizar en detalles para no influir en el desarrollo de las actividades planeadas ni sesgar los resultados.

La estrategia se basó en el uso de una analogía entre un partido de fútbol y la respiración celular, la cual fue implementada bajo los lineamientos metodológicos del MDA con el objetivo de fomentar el desarrollo de dos funciones ejecutivas y el aprendizaje de conceptos básicos sobre el tema curricular multicitado. La información científica sobre la que subyace la construcción de la analogía se obtuvo de diferentes fuentes (los trabajos de Farina, 2013; Pérgola, 2022; Pérgola y Galagovsky, 2019; Quesada, 2011; Tamayo y Sanmartí, 2003), por lo que se atendieron los contextos epistemológicos que sustentan los saberes científicos y se presentó con una organización que tomó en cuenta las posibilidades de los estudiantes para su procesamiento cognitivo.

El planteamiento de la analogía entre un partido de fútbol y la respiración celular surgió de la consideración de que el análogo o dominio base contiene atributos que son

conocidos y familiares para los estudiantes, y que por lo tanto, tienen un claro referente en su estructura cognitiva, lo que podría favorecer en primera instancia, un puente entre lo cotidiano y lo científico, y en consecuencia, facilitaría la comprensión y visualización del campo conceptual a tratar, considerado complejo y abstracto para su aprendizaje (Quesada, 2011). La intención era despertar el interés de los alumnos en un tema clave para comprender un proceso fisiológico fundamental en sus vidas: la respiración celular, partiendo de un deporte que es familiar y relevante entre la juventud del plantel Chilpancingo, el fútbol soccer.

4.3.1. El Modelo Didáctico en el aula

Siguiendo los lineamientos establecidos por Galagovsky y Adúriz (2001), la implementación del MDA en el aula implicó cuatro fases o momentos (tabla 3), los cuales se distribuyeron en cuatro sesiones de trabajo de 40 minutos cada una, distribuidas en dos semanas.

Tabla 2

Fases del Modelo didáctico analógico

	# sesiones	Descripción	Producto generado
Anecdótico	1	La intención de esta etapa es delimitar el análogo, poner en contexto el dominio base de la analogía empleada. Para ello se utiliza como estímulo externo la representación concreta (imagen impresa) de un polideportivo. Para ello, se informa al grupo que en la presente sesión se trabajará con una imagen impresa de un polideportivo con la finalidad de identificar las áreas que lo conforman; a cada estudiante se le proporciona una fotocopia a color del polideportivo. A continuación, se conforman equipos de trabajo por afinidad, de tres o cuatro integrantes cada uno (cuidando que pertenezcan a la misma capacitación) y se solicita dirijan su atención a la cancha de fútbol e identifiquen y discutan con sus compañeros los elementos y agentes que son clave en un partido de fútbol.	Hoja de trabajo 1 (Representación concreta de un polideportivo)

		Al término de esta primera sesión, los equipos socializan sus resultados y se elabora en grupo una lista con los principales elementos de la cancha y los agentes participantes.	
Conceptualización	1	<p>En esta fase se establece el conflicto cognitivo; se busca que los estudiantes tomen conciencia de sus propias significaciones y del vocabulario que emplean para describirlas y se introduce vocabulario preciso que luego servirá como base para el científico. Se consensan los elementos del dominio base que tendrán su correspondencia o relación con los elementos del dominio objeto.</p> <p>Se busca enfocar la atención de los alumnos en situaciones particulares como el transporte del balón, la pérdida y recuperación de este, la importancia de los jugadores estrella, la influencia del público para crear un ambiente (potencial) que promueva la jugada a gol, las zonas delimitadas dentro de la cancha, entre otros. Con la guía de la docente se hace una aproximación a los conceptos y vocabulario asociado a respiración celular. Por consenso, se complementa la tabla de conceptualización.</p>	<p>Hoja de trabajo 2 (Tabla 13. Conceptualización sobre la analogía)</p>
Correlación conceptual	1.5	<p>La finalidad es promover la vinculación conceptual entre elementos del dominio base y elementos del dominio destino. Se complementan dos tablas de correlación conceptual.</p> <p>Los estudiantes conformados en equipos de trabajo realizan la lectura de un texto científico¹ sobre la respiración celular donde se plantea la diferencia entre el proceso mecánico (externo) de intercambio gaseoso y el proceso interno asociado a la producción de energía en las células y tejidos; la vinculación de la producción de energía con las reacciones de oxido-reducción de la materia orgánica que ocurren en los seres vivos. Se enfatizan, además, los procesos secuenciales de degradación de la glucosa y el sitio celular donde ocurren: a) glucólisis en citoplasma, b) ciclo de Krebs en matriz interna mitocondrial, y c) cadena de transporte de electrones en membrana mitocondrial, con la</p>	<p>Hojas de trabajo 3 y 4 (Tablas 14 y 15. Correlación conceptual entre objeto y análogo)</p>

		consiguiente producción masiva de ATP por la enzima ATP sintasa, la cual se vale de un gradiente electroquímico como fuerza motriz. Durante la lectura, se promueven las intervenciones de los estudiantes para plantear dudas o hacer comentarios sobre términos que desconocen. Se complementan dos tablas de correlación conceptual.	
Metacognición	0.5	La intención es promover la reflexión individual sobre el propio proceso de aprendizaje y la toma de conciencia sobre aspectos científicos, pero también sobre las habilidades cognitivas implicadas en la concreción y el éxito en las diferentes tareas solicitadas y en la apropiación del conocimiento a partir de la estrategia didáctica empleada. Los estudiantes se cuestionan: ¿qué aprendí?, ¿cuánto aprendí?, ¿cuáles son los alcances y limitaciones de las asociaciones que se realizaron entre el proceso de respiración celular y su análogo, el partido de fútbol?, ¿qué relación existe entre la respiración celular y el partido de fútbol?	Plenaria

Fuente: Con base en (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Galagovsky y Greco, 2009).

4.4. Instrumentos para la producción datos

Para abordar la fase experimental de esta investigación, se emplearon diversos instrumentos que cumplieran una función específica y buscaban garantizar la pertinencia y validez de los datos producidos. Entre ellos se citan:

1. **Oficios de gestión de permisos.** Se entregaron tanto en el plantel Chilpancingo como en la Dirección General del Colegio de Bachilleres del Estado de Guerrero, con la intención de informar y solicitar la autorización para implementar la intervención didáctica en el aula, en el horario asignado a la docente para impartir la asignatura de Biología II.
2. **Acuerdo de confidencialidad y tratamiento de la información.** Dada la naturaleza de la población estudiantil, menores de edad (16 a 18 años), fue necesario obtener el consentimiento informado de sus padres o tutores legales. Este documento se estructuró

de acuerdo con las normativas éticas y legales vigentes, buscando proporcionar información detallada sobre los objetivos, procedimientos y posibles implicaciones de la investigación, con la intención de asegurar una toma de decisiones informada por parte de los padres y garantizando la participación voluntaria y consciente de los jóvenes en el estudio (anexo 1).

3. **Test de autoinforme.** Como pretest y posttest se utilizó una escala de autopercepción diseñada para evaluar dos componentes del funcionamiento ejecutivo: la flexibilidad cognitiva y la memoria de trabajo en estudiantes de bachillerato. Este instrumento fue construido y validado por González-Medina y Rodríguez-García (2022), está dirigido a jóvenes latinoamericanos y cuenta con validez ecológica, ya que las habilidades evaluadas están contextualizadas en el entorno cotidiano (anexo 2).
4. **Hojas de trabajo.** Conformadas por una representación concreta de un polideportivo y tres tablas, una de conceptualización sobre la analogía y dos de correlación conceptual. Su propósito es proporcionar a los estudiantes una estructura clara y una guía para desarrollar y consolidar los cuatro momentos de la estrategia de intervención.
 - Tabla de conceptualización: está organizada en tres columnas. La primera enlista los elementos que intervienen en un partido de fútbol, la segunda hace referencia a la ubicación de estos en la cancha y la tercera describe la función que desempeñan.
 - Tablas de correlación conceptual: buscan relacionar los elementos del dominio base (partido de fútbol) con los del dominio blanco (respiración celular). Para completarlas, los alumnos deben identificar los procesos involucrados en el campo conceptual de la respiración celular, reconocer los sitios donde ocurren, los eventos que implican y los productos que se obtienen de ellos.
5. **Registro anecdótico.** Su intención es documentar aspectos clave del desarrollo de la intervención didáctica, con énfasis en la participación de los estudiantes y su desempeño en las actividades propuestas. Incluye datos generales como: momento didáctico, fecha, capacitación, horario, materiales utilizados y observaciones. La información obtenida con este instrumento enriquece y complementa la generada a través de otros instrumentos.

6. **Complementarios.** Las fotografías y videos proporcionan evidencia visual y auditiva de las actividades, interacciones, eventos y productos derivados de la intervención educativa.

A continuación, se describe con mayor detalle la escala autoinforme empleada como pretest y postest. El instrumento está conformado por 13 ítems tipo Likert que abordan distintas tareas del ámbito escolar, específicamente de las áreas de matemáticas y lenguaje, con el propósito de evaluar la flexibilidad cognitiva y la memoria de trabajo (tabla 4). De los 13 ítems planteados, los cinco primeros evalúan la flexibilidad cognitiva, mientras que los ocho restantes se centran en la memoria de trabajo, la cual se subdivide en memoria de trabajo numérica (ítems 6 al 8) y verbal (ítems 9 al 13). Al contestar la prueba, los participantes deben señalar el grado de acuerdo con el control que ejercen en cada una de las tareas mencionadas, utilizando una escala de Likert de cinco opciones de respuesta, que van desde uno (“Totalmente en desacuerdo”) hasta cinco (“Totalmente de acuerdo”). Este instrumento es cualitativo y simétrico, ya que contiene el mismo número de categorías favorables y desfavorables, separadas por una neutra intermedia.

Tabla 3

Escala autoinforme para medir flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo en estudiantes de bachillerato

Dimensión	Ítem
Flexibilidad cognitiva (FC)	1. Cuando hay cambio de actividad o tema en la clase, puedo enfocarme en esta nueva actividad.
	2. Me adapto a los cambios que se me presentan para lograr los resultados que deseo.
	3. Al cambiar de hora clase, dejo de realizar las actividades de la clase anterior y pongo atención a la materia que está empezando.
	4. Cuando se me presenta alguna situación académica complicada puedo encontrar alguna alternativa para solucionarla.
	5. Cuando mis trabajos no están del todo bien puedo buscar formas diferentes para realizarlos.

Memoria de trabajo numérica (MTN)	6. Puedo realizar los cálculos necesarios a partir de la información de un problema de matemáticas.
	7. Puedo realizar cálculos mentalmente.
	8. Puedo ir anticipando la solución de un problema razonado al ir leyéndolo.
Memoria de trabajo verbal (MTV)	9. Luego de leer un texto, puedo realizar un escrito al respecto.
	10. Con leer una vez un texto o lectura, puedo recordar lo que he leído.
	11. Puedo redactar un escrito a partir de mis ideas o conocimientos.
	12. Puedo recordar con facilidad indicaciones verbales.
	13. Puedo recordar con facilidad indicaciones escritas.

Fuente: (González-Medina y Rodríguez-García, 2022: 9).

La tabla 5 muestra las categorías de respuesta de la escala Likert utilizada, la cual permite obtener una puntuación mínima de 13 y una máxima de 65. Puntuaciones elevadas en este recurso se asocian con un buen nivel de funcionamiento ejecutivo. Además, el cuestionario presenta un coeficiente alfa de Cronbach de 0.832, lo que indica una alta confiabilidad en la medición de la flexibilidad cognitiva, la memoria de trabajo numérica y la memoria de trabajo verbal mediante los ítems propuestos (González-Medina y Rodríguez-García, 2022).

Tabla 4

Categorías de respuesta de la escala autoinforme tipo Likert empleada

Categorías de respuesta	Puntuación
Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Indeciso	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5

Fuente: (González-Medina y Rodríguez-García, 2022).

A la prueba descrita, se le agregó un apartado adicional para recolectar datos demográficos generales de los estudiantes. Para su aplicación en la presente investigación, se obtuvo la autorización expresa de los creadores del instrumento (anexo 3).

4.5 Procedimiento para la recolección de datos

Es necesario precisar que la autora del presente estudio se desempeña como docente del área de Biología en el Colegio de Bachilleres del Estado de Guerrero, Plantel Chilpancingo, por lo que la producción y recolección de datos se llevó a cabo en las instalaciones de este, durante el horario asignado por la dirección del plantel para dicho fin, de 13:20 a 14:00 h, del 27 de febrero al 5 de marzo del 2024. Este periodo comprendió seis sesiones de 40 minutos cada una, a las que asistieron 25 estudiantes cuyos padres o tutores otorgaron el consentimiento informado. De estos, 12 pertenecían a la capacitación de Informática y 13 a Contabilidad.

El salón de clase donde se realizó la intervención didáctica está ubicado en el edificio B del plantel educativo, el cual alberga seis aulas para los alumnos que cursan el segundo grado del bachillerato general. Cada uno de estos espacios es amplio, cuenta con buena iluminación natural y artificial, está acondicionado con dos ventiladores de techo, un proyector digital, 30 butacas, un escritorio y una silla para la docente.

Como ya se citó en apartados previos, los instrumentos empleados para la producción y recolección de datos fueron una escala autoinforme tipo Likert para evaluar dos funciones ejecutivas (flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo: numérica y verbal), hojas de trabajo del MDA, observación participante y registro de datos complementarios. El análisis de datos se llevó a cabo en dos niveles: descriptivo e interpretativo. El primero implicó la estadística descriptiva de los datos obtenidos en el pretest y posttest; el segundo correspondió al análisis interpretativo de las producciones escritas y orales generadas por los participantes durante la implementación de la estrategia didáctica.

Tabla 5

Fechas de implementación y reglas de ejecución de los instrumentos empleados

Instrumento	Ejecución	
	Duración	Reglas y apoyos auxiliares
Formato de gestión de permisos	Una sesión (19 de febrero del 2024)	La suscrita entrega los oficios de gestión de permisos en la Dirección General del Colegio de Bachilleres del Estado de Guerrero y en el plantel Chilpancingo
Acuerdo de confidencialidad y de tratamiento de la información	Dos sesiones (22 y 23 de febrero del 2024)	La directora académica del plantel y la suscrita convocan a una reunión con padres de familia, tutores y alumnos para informar de manera general sobre el proyecto de investigación a realizarse en los grupos v-405 y v-406. Cada padre de familia y alumno firma el acuerdo de confidencialidad y de tratamiento de la información.
Hojas de trabajo generadas durante el MDA	Cuatro sesiones de 40 minutos cada una (del 28 de febrero al 4 de marzo del 2024)	La docente investigadora conduce la realización de la toma de datos, explica cuidadosamente en que consiste cada actividad, señala las reglas a seguir: contestar con lápiz, no borrar respuestas, no copiar respuestas de los compañeros y ajustarse al tiempo asignado. Entrega las hojas de trabajo y aclara las dudas que surjan. Al término del tiempo asignado procede a recolectarlas. En caso de surgir confusión con las preguntas que se plantean en cada una de las hojas de trabajo, se tiene contemplada la siguiente guía: Para la tabla de conceptualización/correlación, se pretende motivar a los alumnos para que enlisten las características de la cancha de fútbol soccer, sus delimitaciones, cuantos equipos participan y cómo están conformados, es decir los roles de los jugadores, la influencia del público en el partido, las jugadas a gol, las características del balón, entre otras. El objetivo es que externen, discutan y anoten sus ideas, con el vocabulario que habitualmente utilizan. Posteriormente, se buscará el consenso sobre los materiales, las funciones y el vocabulario científico más apropiado para describirlos. Las hojas de trabajo generadas durante la intervención didáctica serán transcritas/escaneadas y almacenadas en un dispositivo informático.

Prueba en formato autoinforme (pretest y postest)	Dos sesiones de 40 minutos cada una (el 27 de febrero y el 5 de marzo del 2024)	La suscrita conduce la aplicación del pretest y postest; explica a los alumnos en qué consiste la prueba y su duración. Pide que lean con atención cada uno de los enunciados y que seleccionen la alternativa de respuesta que represente mejor su forma de ser o actuar, poniendo una marca de verificación “√” en la casilla que corresponda. Solicita respetar el tiempo asignado para contestar la prueba. Esta evidencia será escaneada y almacenada en un dispositivo informático.
Registro anecdótico	Cuatro sesiones de 40 minutos cada una (del 28 de febrero al 4 de marzo del 2024)	Durante la intervención didáctica la suscrita desempeñará dos roles: docente e investigadora, por lo que el registro de los eventos relevantes relacionados con la conducta, actitud, interacciones y lenguaje empleado por los alumnos se realizará al término de cada una de las sesiones de trabajo.
Registros complementarios (fotografía, grabaciones en audio y video)	Cuatro sesiones de 40 minutos cada una (del 28 de febrero al 4 de marzo del 2024).	Todas las sesiones de trabajo que se celebren en cada una de las dos aulas (v-405 y v-406) serán captadas en fotografía o video. Lo anterior es debido a que interesa observar/grabar las conductas, actitudes, vocabulario, participaciones e interacciones que establecen los alumnos durante la intervención didáctica.

Fuente: Construcción personal.

4.6 Consideraciones éticas y de confiabilidad

A continuación, se citan las medidas éticas y de confiabilidad que se implementaron para asegurar el cumplimiento de los principios éticos y la protección de la privacidad de los participantes en la investigación:

1. **Preservación de la privacidad y anonimato de los participantes.** Se asignaron códigos alfanuméricos de identificación (EI1, EI2, EI3, ..., EC1, EC2, EC3..., EI*n*) en lugar de nombres reales en todas las transcripciones, documentos, análisis de datos y en la comunicación de los resultados. La letra “E” corresponde a Estudiante, y las letras “I” o “C”, a la capacitación (Informática, Contabilidad).
2. **Respeto y confidencialidad en el proceso de recolección de información.** Se garantiza el registro de información pertinente y asociada al interés académico de esta investigación, sean en papel, fotografía, audio y/o video. Se descartaron los datos que los

participantes consideraron que no debían ser divulgados, respetando en todo momento sus respuestas y decisiones de participación.

3. **Almacenamiento seguro de la información producida.** La información recopilada se transcribió y almacenó de forma segura, accesible únicamente para las personas autorizadas, que en este caso son la investigadora y la directora de tesis.
4. **No divulgación de información personal para futuros estudios.** La información personal recabada no se divulgará ni será utilizada en etapas o estudios posteriores, lo que asegura la confidencialidad de los participantes a largo plazo.

4.7 Organización y análisis de datos

Una vez producidos los datos, se sometieron a tres procedimientos:

4.7.1 Organización

Comprendió el tratamiento previo, categorización y ordenamiento. Para ello se transcribieron y digitalizaron las pruebas aplicadas, los resultados de las hojas de trabajo, el registro anecdótico, así como se realizó la transcripción y segmentación de las grabaciones en video.

La transcripción de la información obtenida de los participantes requirió un proceso meticuloso y cuidadoso para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos recopilados. Para ello, a partir de las grabaciones en video, se realizó la transcripción textual de las participaciones orales de los alumnos vertidas durante las distintas fases de la estrategia didáctica, y que guardaban relación con la construcción y comunicación del conocimiento científico. De acuerdo con Sanmartí (2007), para que los alumnos comprendan ideas de la ciencia requieren aprender a hablarla y a escribirla de forma que puedan familiarizarse con el lenguaje científico. En virtud de lo anterior, en la presente investigación se transcriben las ideas que comunican los alumnos y que parten de su vocabulario cotidiano coloquial y que se espera transiten hacia un vocabulario científico que les permita hacer definiciones, explicaciones y argumentaciones científicas. Con respecto al registro anecdótico, su transcripción se enfocó en las observaciones relacionadas con el comportamiento, la actitud y las interacciones sociales establecidas por los estudiantes durante la estrategia didáctica.

Una vez transcrita la información se categorizó por capacitación (Informática o Contabilidad) y por momento o fase de la estrategia didáctica (anecdótico, conceptualización, correlación conceptual y, metacognición).

Dentro de las variables de interés para el objeto de estudio de esta investigación, se citan: el funcionamiento ejecutivo que se desea promover (en particular la flexibilidad cognitiva, la memoria de trabajo numérica y la memoria de trabajo verbal) y el aprendizaje de conceptos básicos sobre respiración celular. En el caso de las habilidades ejecutivas de interés, estas fueron analizadas a través de las diferentes tareas escolares que se incluyen en la escala autoinforme multicitada. Mientras que, el aprendizaje de conceptos básicos sobre respiración celular se determinó a través del uso de lenguaje científico y de la habilidad de los estudiantes para construir definiciones sobre los procesos implicados en este campo conceptual.

4.7.2 Depuración

Consistió en la declaración de variables que no eran de interés para la investigación, pero que podían ejercer cierta influencia en los resultados, y por lo tanto, fue necesario separarlas del cuerpo de datos, por ejemplo: el promedio obtenido en la asignatura de Biología I, si eran alumnos repetidores de la asignatura o del grado escolar, el estilo de aprendizaje, la identidad étnica y el ritmo cognitivo de los estudiantes condicionado por el horario de clases en el que se realizó la intervención didáctica.

4.7.3 Análisis

El análisis de datos se llevó a cabo en dos niveles: descriptivo e interpretativo. En el primer nivel, se realizó un análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos en el pretest y posttest, a partir de medidas de tendencia central (media) y de variación (desviación estándar). Así mismo, se analizaron las respuestas más relevantes de las hojas de trabajo generadas en el MDA en función del uso del lenguaje científico y de la construcción de definiciones sobre la respiración celular.

En el nivel interpretativo, se realizó un análisis de contenido de los registros anecdóticos y de las transcripciones de video buscando identificar cambios en el uso del lenguaje científico y en la construcción de definiciones por parte de los estudiantes. La triangulación de datos permitió una evaluación confiable del impacto de la estrategia didáctica en el desarrollo de funciones ejecutivas y en el aprendizaje.

Capítulo V. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los datos producidos durante las diferentes etapas de la intervención didáctica. El análisis se estructura en dos ejes principales: el efecto de la estrategia didáctica en dos funciones ejecutivas, flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo, y en el aprendizaje de conceptos básicos de la respiración celular.

5.1 Análisis descriptivo de la población de estudio

Para conocer de manera general cómo es el grupo de estudio se consideran en primera instancia los datos demográficos, representados en frecuencias y sus porcentajes correspondientes, tal como se muestran en la tabla 7.

Tabla 6

Frecuencias y porcentajes de las características demográficas

Variables	Característica	Frecuencia	Porcentaje
Sexo	Mujer	10	40
	Hombre	15	60
Edad (años)	16	19	76
	17	5	20
	18	1	4
Capacitación	Informática	12	48
	Contabilidad	13	52
Total		25	

Fuente: Construcción personal.

La muestra está conformada por 25 estudiantes del Plantel Chilpancingo del Colegio de Bachilleres Guerrero. El 40% de los participantes son mujeres y el 60% hombres. Sus edades fluctúan entre los 16 y 18 años, con una media de 17 años. Con respecto a la capacitación para el trabajo en la que están inscritos, el 48% pertenece a Informática y el 52% a Contabilidad. Todos ellos conforman el único grupo de intervención.

5.2 Efecto del MDA sobre las funciones ejecutivas

Como pretest y postest los estudiantes respondieron una escala en formato autoinforme conformado por 13 ítems tipo Likert que evalúan la flexibilidad cognitiva (ítem 1 al 5) y la memoria de trabajo, subdividida en numérica (ítem 6 al 8) y verbal (ítem 9 al 13). Este instrumento de autopercepción cuestiona a los participantes sobre su grado de acuerdo con el control que ejercen en distintas tareas del ámbito escolar, en particular en matemáticas y lingüística. Las opciones de respuesta son cinco y pueden asumir un valor que va desde 1 (totalmente en desacuerdo) hasta 5 (totalmente de acuerdo).

El procedimiento elegido para el análisis de los datos es el estadístico descriptivo. Al ser una escala compuesta por tres series de ítems tipo Likert que proporcionan medidas cuantitativas de igual número de dimensiones, se analiza en la escala de medición de intervalos. La estadística descriptiva incluye la media como medida de tendencia central y la desviación estándar para variabilidad (Boone, H. y Bonne, D., 2012).

A continuación, se presentan las tablas con los datos descriptivos de cada ítem, organizados por función ejecutiva y clasificados por capacitación y momento de aplicación de la prueba (pre y postest).

La tabla 8 se muestran los valores obtenidos en la estadística descriptiva de la **flexibilidad cognitiva**. En el grupo de **Informática**, los valores medios en el pretest indican que los participantes están indecisos en su capacidad de adaptación a los cambios. Por ejemplo, en su capacidad de enfocarse en una nueva actividad ($M=2.9$), dejar de lado actividades previas para poner atención en una clase nueva ($M=2.9$) y en la adaptación a los cambios que se presentan para obtener los resultados deseados ($M=2.8$). Tras la implementación de la estrategia didáctica, el puntaje medio incrementó en los tres ítems relacionados con esas capacidades ($M=3.6$, 4.0 y 4.1 , respectivamente), indicando una mejora notable en la autopercepción de los estudiantes.

Los ítems que evalúan la capacidad para encontrar alternativas para solucionar problemas académicos y para modificar estrategias cuando un trabajo no está bien hecho, mostraron valores que indican que los estudiantes están de acuerdo con su desempeño (M=3.1 y 3.3, respectivamente); en el postest se observó una mejoría en la percepción de esas capacidades (M=3.4 y 3.8, respectivamente).

Con lo que respecta al grupo de **Contabilidad**, los valores descriptivos en el pretest muestran una tendencia similar a la del grupo de Informática, aunque con medias ligeramente más altas en algunos ítems. Por ejemplo, en los dos primeros que evalúan la capacidad para adaptarse a los cambios, los estudiantes mostraron indecisión, tanto en su capacidad de enfocarse en una nueva actividad (M=3.0), como en poder dejar de lado actividades previas con la intención de centrar su atención en la clase siguiente (M=2.9). También se observó un nivel de acuerdo positivo en su capacidad para adaptarse a los cambios que surgen para obtener resultados deseados (M=3.3). Estos tres valores se vieron modificados en el postest, indicando el acuerdo de los participantes con su capacidad de adaptación a los cambios (M=4.6, 4.5 y 4.2, respectivamente) tras la intervención.

Tabla 7

Resultados descriptivos del pretest y postest para flexibilidad cognitiva

Ítem	Informática				Contabilidad			
	Pre		Post		Pre		Post	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
Ítem 1	2.9	0.8	3.6	0.8	3	1.4	4.6	0.7
Ítem 2	2.8	1	4.1	1.2	3.3	1	4.2	0.9
Ítem 3	2.9	0.9	4	1.1	2.9	1	4.5	0.7
Ítem 4	3.1	1	3.4	0.9	3.2	1.1	3.8	0.9
Ítem 5	3.3	1.1	3.8	1.4	3.5	0.9	4	0.8

1. Cuando hay cambio de actividad o tema en la clase, puedo enfocarme en esta nueva actividad (FC1).

2. Me adapto a los cambios que se me presentan para lograr los resultados que deseo (FC2).

3. Al cambiar de hora clase, dejo de realizar las actividades de la clase anterior y pongo atención a la materia que está empezando (FC3).

4. Cuando se me presenta alguna situación académica complicada puedo encontrar alguna alternativa para solucionarla (FC4).

5. Cuando mis trabajos no están del todo bien puedo buscar formas diferentes para realizarlos (FC5).

Nota. Los parámetros empleados en la descripción estadística son: la media (M) y la desviación estándar (DE). Fuente: Construcción personal.

Los valores descriptivos evidencian un incremento en las medias en todos los ítems que evalúan la flexibilidad cognitiva tras la intervención didáctica en ambos grupos, acompañado en la mayoría de los casos por una reducción en la desviación estándar, lo que indica una menor dispersión en las respuestas.

La tabla 9 muestra la estadística descriptiva de los tres ítems que evalúan la **memoria de trabajo numérica**. En el grupo de **Informática**, los valores medios en el pretest indican que los participantes se encuentran en un punto de indecisión o con un nivel moderado de acuerdo respecto a sus habilidades numéricas. Por ejemplo, en el ítem 6, la media inicial ($M=3.0$) sugiere que los estudiantes no mostraban una postura clara sobre su capacidad para realizar cálculos a partir de la información de un problema matemático. Tras la intervención, se observó un ligero aumento en la media ($M=3.4$). En cuanto a la habilidad para efectuar cálculos mentales, los valores se mantuvieron relativamente estables, con una media inicial de 3.8 y una media posttest de 3.9, lo que sugiere un nivel de acuerdo en la autopercepción de esa capacidad.

Un comportamiento similar se observa en la habilidad para anticipar la solución de un problema razonado al leerlo, donde los estudiantes de Informática presentaron un nivel de acuerdo inicial ($M=3.4$) que aumentó ($M=3.7$) tras la intervención didáctica.

Con respecto al grupo de **Contabilidad**, nuevamente presenta un comportamiento similar al registrado en la flexibilidad cognitiva, es decir, los resultados iniciales y finales presentan medias más altas en comparación con las obtenidas por los estudiantes de Informática. En el ítem 6, la media inicial ($M=4.2$) fue superior a la registrada en Informática y experimentó un ligero aumento en tras la intervención ($M=4.3$), lo que refleja un alto grado de acuerdo con la capacidad para realizar cálculos a partir de la información extraída de un problema matemático. De manera similar, en el ítem relacionado con la habilidad para efectuar cálculos mentales, la media inicial ($M=4.2$) mostró un incremento ($M=4.5$) en el posttest, lo que indica una mayor confianza en esta habilidad.

El análisis descriptivo también muestra una diferencia significativa en la capacidad de anticipar la solución de un problema durante la lectura. Previo a la intervención, los estudiantes de Contabilidad mostraron desacuerdo ($M=2.4$) y posteriormente, la media aumentó a 3.8, lo que refleja una mejora en su autopercepción.

Los valores descriptivos de la memoria de trabajo numérica muestran un aumento en las medias de los tres ítems después de la intervención didáctica en ambas capacitaciones, con una menor dispersión en algunos casos, especialmente en los estudiantes de Contabilidad, lo que sugiere una tendencia hacia respuestas más homogéneas tras la implementación de la estrategia didáctica.

Tabla 8

Resultados descriptivos del pretest y postest para memoria de trabajo numérica

Ítem	Informática				Contabilidad			
	Pre		Post		Pre		Post	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
Ítem 6	3	0.7	3.4	1.1	4.2	0.7	4.3	0.8
Ítem 7	3.8	0.8	3.9	0.8	4.2	0.8	4.5	0.7
Ítem 8	3.4	1.2	3.7	1.1	2.4	1.4	3.8	0.7

6. Puedo realizar los cálculos necesarios a partir de la información de un problema de matemáticas (MTN1).

7. Puedo realizar cálculos mentalmente (MTN2).

8. Puedo ir anticipando la solución de un problema razonado al ir leyéndolo (MTN3).

Nota. Los parámetros empleados en la descripción estadística son: la media (M) y la desviación estándar (DE). Fuente: Construcción personal.

En la tabla 10 se muestra la estadística de los ítems que evalúan la **memoria de trabajo verbal**. El grupo de **Informática** refleja desacuerdo inicial con su capacidad para recordar un texto después de haberlo leído una única vez ($M=2.8$) y para recordar indicaciones verbales ($M=2.7$). Después del postest las medias aumentaron ligeramente ($M=3.1$ y 3, respectivamente).

Con respecto a la capacidad de realizar un escrito después de haber leído un texto (ítem 9), los participantes de Informática no mostraron cambios en la media inicial ($M=3.2$)

tras la aplicación de la estrategia didáctica, pero si exhibieron un mayor acuerdo en su habilidad para redactar un escrito a partir de ideas o conocimientos propios (M=4.1) y para recordar indicaciones escritas (M=3.7) tras la estrategia de intervención.

En el grupo de **Contabilidad**, los valores obtenidos en el pretest y postest fueron más altos en comparación con Informática, reflejando una mejor autopercepción en todas las actividades y tareas relacionadas con la memoria de trabajo verbal. Se puede citar su capacidad para redactar un escrito después de leer un texto (M=4.3), recordar lo leído (M=4.2), elaborar una redacción a partir de sus propias ideas (M=4.6), así como la facilidad para recordar indicaciones verbales (M=4.2) y escritas (M=4.2).

Los resultados evidencian una mejora en la percepción de la memoria de trabajo verbal en ambas capacitaciones tras la intervención, con un aumento más notable en Contabilidad. Además, la reducción en las desviaciones estándar en la mayoría de los ítems indica que las respuestas eran más homogéneas tras la intervención.

Tabla 9

Resultados descriptivos del pretest y postest para memoria de trabajo verbal

Ítem	Informática				Contabilidad			
	Pre		Post		Pre		Post	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
Ítem 9	3.2	1.2	3.2	1.1	3.5	1.4	4.3	0.8
Ítem 10	2.8	1.1	3.1	1.4	3.8	1.1	4.2	0.6
Ítem 11	3.7	1.1	4.1	0.9	4.3	0.9	4.6	0.5
Ítem 12	2.7	0.9	3	1	3.9	0.8	4.2	0.6
Ítem 13	3.3	1.3	3.7	1	3.8	0.8	4.2	0.6

9. Luego de leer un texto, puedo realizar un escrito al respecto (MTV1).

10. Con leer una vez un texto o lectura, puedo recordar lo que he leído (MT V2).

11. Puedo redactar un escrito a partir de mis ideas o conocimientos (MTV3).

12. Puedo recordar con facilidad indicaciones verbales (MTV 4).

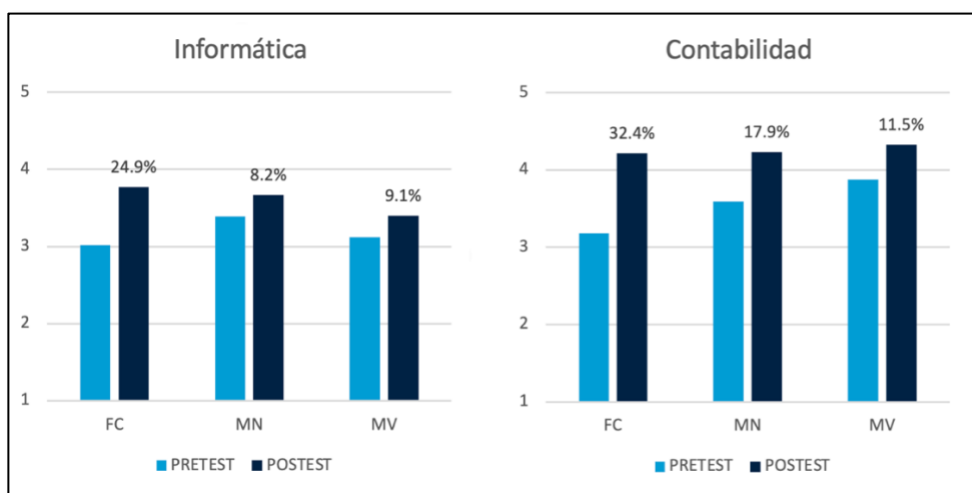
13. Puedo recordar con facilidad indicaciones escritas (MTV 5).

Nota. Los parámetros empleados en la descripción estadística son: la media (M) y la desviación estándar (DE). Fuente: Construcción personal.

A manera de resumen, tras la implementación didáctica, los estudiantes de ambas capacitaciones obtuvieron un incremento general en las tres categorías analizadas. La figura 5 muestra los porcentajes de mejora por capacitación.

Figura 4

Porcentaje de mejora en las funciones ejecutivas tras la intervención didáctica



Nota. Abreviaturas empleadas: FC: flexibilidad cognitiva, MN: memoria de trabajo numérica, MV: memoria de trabajo verbal. Fuente: Construcción propia.

5.3 Efecto del MDA sobre el aprendizaje de conceptos básicos de la respiración celular

Es necesario especificar que los estudiantes habían cursado previamente la asignatura de Biología I, donde se construyeron conceptos generales sobre la estructura y función de la célula, así como una introducción a las biomoléculas y su metabolismo. En virtud de lo anterior, se partía del supuesto de que los alumnos tendrían en su estructura cognitiva conceptos sólidos que les permitirían procesar e incorporar la información científica nueva a la que estarían expuestos, como lo plantea el Modelo de Aprendizaje Cognitivo Consciente Sustentable (MACCS, Galagovsky, 2004a).

Con base en la premisa anterior, se diseñó e implementó en el aula un MDA para la enseñanza y el aprendizaje de la respiración celular. La intención de la estrategia didáctica

era que los alumnos comprendieran un modelo que les fuera familiar y a la vez sirviera para representar la respiración celular, enfocándose en los agentes participantes, los procesos involucrados, los productos generados y los sitios de ocurrencia. La analogía que se diseñó e implementó en esta investigación fue una comparación entre un partido de fútbol y la respiración celular.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la puesta en marcha del MDA, la cual comprendió cuatro sesiones de trabajo en el aula. La forma en que se presentan es la siguiente: primero, se indica el número de sesión y se caracteriza el momento didáctico, a continuación, se describen las actividades realizadas, se muestran los productos generados y los eventos significativos de las participaciones orales de los estudiantes.

5.3.1 Primera sesión: momento anecdótico

Con base en Adúriz-Bravo et al. (2005) y Oliva (2004), la intencionalidad de este momento es inducir y facilitar la construcción personal de la analogía, para ello se recurrió a un estímulo externo y a la asignación de consignas que los alumnos debían resolver y comunicar al grupo. Se enfatizó la construcción de la analogía como un proceso interno al sujeto que aprende y que lleva a cabo en interacción con el entorno escolar que lo rodea.

En esta sesión de trabajo, se indicó a los participantes que durante cuatro clases se implementaría en el aula una estrategia de enseñanza y aprendizaje que buscaba favorecer la comprensión de un proceso vital para todo ser vivo, y que dentro de las actividades que se realizarían se requería el análisis individual, el trabajo en equipo y el consenso de acuerdos en el grupo.

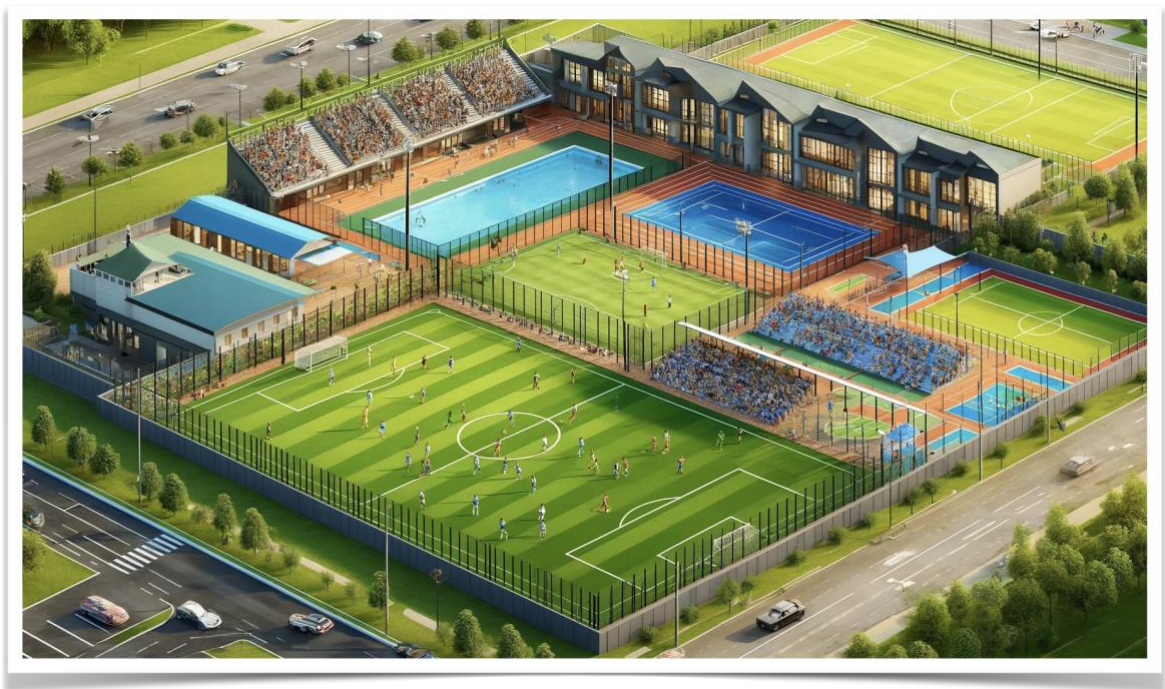
Se procedió a solicitar el análisis individual y la discusión en equipo de la imagen impresa de un polideportivo generado con inteligencia artificial (OpenAI, 2024), enfocándose en las áreas o canchas que lo componen (figura 5).

Posteriormente, se pidió a los estudiantes centraran su atención en la *cancha de fútbol* de mayor tamaño con la intención de identificar sus características generales. La tabla

11 muestra las características identificadas y acordadas por consenso en el grupo. Para este momento, todos los estudiantes, de ambas capacitaciones participaron activamente.

Figura 5

El polideportivo y las áreas que lo conforman



Fuente: (OpenAI, 2024).

Tabla 10

Características de la cancha de fútbol identificas en consenso grupal

Características generales de la cancha de fútbol
Forma rectangular
Tiene una barda perimetral y líneas o demarcaciones en el campo de juego
Hay un área para la banca y una zona para los árbitros
Hay gradas para el público
Los elementos indispensables para el juego son: el balón y los jugadores
Los jugadores pueden tener diferentes posiciones dentro de la cancha (defensas, delanteros, porteros).

Fuente: Construcción propia.

En la tabla 12 se exponen las interacciones comunicativas generadas durante la primera sesión de trabajo.

Tabla 11

Interacciones comunicativas entre los estudiantes durante el momento anecdótico

Pregunta guía	Respuesta de los estudiantes	Intención / Posible analogía
¿Qué áreas específicas identifican en el polideportivo?	Estudiante de Informática: <i>"Albercas, cafeterías, canchas de fútbol, gradas, áreas verdes."</i>	Se busca que los estudiantes reconozcan la existencia de diferentes zonas, que cumplen funciones específicas, lo que posteriormente se comparará con algunos organelos celulares.
¿Cómo está delimitada cada área?	Estudiante de Informática: <i>"Por la malla ciclónica, aunque también las gradas dividen las canchas."</i>	Se introduce la idea de separación y límites, similar a la función que cumplen las membranas celulares.
¿El acceso es libre?, ¿pueden entrar o salir por donde gusten los asistentes?	Estudiante de Informática: <i>"No, el terreno está cercado, no se ven las puertas... por algún lado deben de entrar."</i>	Se quiere enfatizar la presencia de un sistema que controla el acceso, similar a la función que cumple la membrana plasmática, quien permite el paso selectivo de ciertas sustancias.
¿Hay alguna oficina que regule y controle lo que sucede en el polideportivo?	Estudiante de Informática: <i>"Sí, hay una construcción que parece la dirección. Seguro ahí se piden permisos, se apartan las canchas."</i>	Se busca canalizar la atención en el centro de control, que se relacionará con la función del núcleo celular; órgano encargado de coordinar actividades.
¿Hay alguna área donde se produzca o consuma energía?	Estudiante de Contabilidad: <i>"En la cafetería."</i> Estudiante de Informática: <i>"En las canchas."</i>	Movilizar conocimientos previos (relacionados con la unidad de célula revisada con el curso anterior). Dirigir la atención hacia la producción o consumo de energía.
¿Qué roles pueden asumir los jugadores durante el partido de fútbol?	Estudiantes de Informática: <i>"Yo juego en el equipo de la escuela, soy defensa."</i> Otro estudiante de Informática: <i>"Yo soy portero, el más importante."</i> Estudiante de Contabilidad: <i>"Los defensas centrales dirigen el equipo desde atrás, los laterales defienden, los de contención apoyan, el portero protege el arco."</i>	Se enfatiza la importancia de los diferentes agentes participantes y el papel (rol) clave que desempeñan para posteriormente extrapolarlos con los elementos que catalizan las reacciones químicas.

¿Cuál es el propósito del juego?	Varios estudiantes al unísono: <i>“¡Anotar un gol!”</i>	Remarcar que los procesos bioquímicos tienen un propósito.
¿Qué les recuerda este polideportivo?, ¿a qué se parece?	Estudiante de Contabilidad: <i>“Se ve como una de las maquetas que construimos el semestre pasado sobre las células.”</i>	Se busca movilizar conocimientos que yacen en la estructura cognitiva de los estudiantes.

Fuente: Construcción propia.

5.3.2 Segunda sesión: momento de conceptualización

En esta etapa se busca promover la construcción del conocimiento analógico sustentado, mediante el planteamiento de correlaciones estructurales y funcionales en un partido de fútbol. Para ello, se les proporcionó a los participantes una tabla de conceptualización sobre la analogía que debían completar tras un proceso de análisis y discusión. La tabla contiene tres columnas: la primera ya enlista los elementos/agentes que participan en un partido de fútbol; las dos restantes corresponden al “sitio de actuación” y “función”, respectivamente, y deben ser complementadas por los estudiantes.

Los resultados de cada equipo fueron socializados al grupo, llegando a un consenso sobre las correlaciones estructurales y funcionales en un partido de fútbol. La coincidencia conceptual entre las respuestas planteadas por los estudiantes y las esperadas desde la planificación didáctica, se muestra en la tabla 13.

Tabla 12

Cuadro de conceptualización sobre la analogía

Elemento/ agente	Lugar donde Actúa	Función (consenso grupal)	Función (respuestas esperadas)
Cancha de juego	Toda el área de juego.	Permitir que se enfrenten dos equipos.	Delimitar y proteger el espacio físico donde sucede el partido de fútbol. Contiene regiones donde es posible el intercambio de lo que está adentro con lo de afuera.

Delimitaciones de la cancha de fútbol	Marcas en la cancha: arcos, esquinas, líneas laterales y horizontales, círculo central, área grande, área de penal.	Ayudar a los jugadores con sus posiciones y entender cuando haya penalizaciones.	Sistema que controla y facilita el ingreso al campo de juego. Señalar las áreas donde es posible la ejecución de eventos que conducirán a la anotación a gol.
Jugadores y sus demarcaciones (goleador, portero, mediocampista, defensa)	En toda la cancha de juego.	Depende de la posición del jugador. Puede defender, anotar, proteger, adelantar la jugada.	Asumir roles específicos durante el juego.
Balón	En toda la cancha.	Rodar, pasar de un jugador a otro.	Ser un elemento clave durante el partido.
Pases del balón	En toda la cancha, pero hay zonas clave sobre todo las cercanas a la portería.	“Transferir” el balón de un jugador a otro, facilitando la progresión del juego y la estrategia del equipo.	Conectar y establecer interacciones efectivas entre los agentes participantes.
Anotación de gol	Cercana a la línea de meta (entre los postes y debajo del travesaño).	Ganar puntos, ganar el partido.	Ser el objetivo motor del partido.
Afición o público	Alrededor de la cancha. Si es más <i>nais</i> (<i>nice</i>) puede haber tribuna baja, tribuna alta, palcos.	“Impulsar” a los jugadores para que avancen en el campo de juego y anoten un gol.	Brindar apoyo y aumentar la motivación del equipo.
Entrenadores	En el campo de juego y fuera de él.	Dar indicaciones para los cambios de “estrategia” de juego.	Tomar decisiones en función de las necesidades del juego.

Nota. Los términos entre comillas fueron utilizados por algunos estudiantes durante la fase de consenso y requirieron ser discutidos. Fuente: Construcción propia.

En este momento didáctico se estableció el conflicto cognitivo y la toma de consciencia de las significaciones propias y del vocabulario común o cotidiano empleado para describirlas. Dos estudiantes de Contabilidad, en colaboración con la docente, introdujeron el vocabulario preciso que serviría de base para el científico. Además, se realizó un consenso entre los aspectos del dominio base que tendrían similitud o conexión con el

dominio objeto. En este momento, los estudiantes de Informática disminuyeron su frecuencia de participaciones. Sólo tres de ellos, siguieron conservando su entusiasmo, lo que se evidenció a través de la frecuencia de sus participaciones orales y la precisión de las aportaciones realizadas.

5.3.3 Tercera sesión: momento de correlación conceptual

El objetivo es construir la correlación entre el partido de fútbol y los conceptos científicos de la respiración celular. Las analogías deben ser reinterpretadas por los estudiantes en función de sus esquemas mentales, de ahí que su éxito como recurso didáctico esté determinado por su participación en la construcción de estas (Brown y Clement, 1989, como se citó en Oliva et al., 2001).

Con base en lo anterior, la siguiente actividad consistió en solicitar que completaran la tabla de correlación conceptual (tabla 14), que relaciona la estructura de la cancha de fútbol y la mecánica del partido con la estructura celular y los procesos implicados en la respiración celular. El llenado se realizó en dos momentos: en el primero, cada estudiante registró sus respuestas basándose en sus concepciones iniciales; en el segundo momento, la tabla se complementó de manera grupal tras la lectura de un texto científico sobre la respiración celular (Curtis et al., 2022).

Tras la puesta en común, se logró consensuar entre todos los participantes las respuestas de la tabla de correlación conceptual que se presenta a continuación (tabla 14). Diversos términos tuvieron que ser aclarados o explicados con mayor detalle, sea por dos alumnos de Contabilidad que desde un inicio del planteamiento de la analogía fueron muy participativos o bien, por la docente. Este proceso tenía la intención de promover la toma de conciencia sobre los conceptos nexos de los estudiantes y uso vocabulario cotidiano que emplean para describir o hablar de eventos científicos.

Tabla 13

Cuadro de correlaciones entre la analogía del partido de fútbol y la respiración celular

Elemento/Evento del partido de fútbol	Elemento/Evento de la respiración celular (consenso grupal)	Elemento/Evento de la respiración celular (respuestas esperadas)
Polideportivo	La célula.	Célula.
Cancha de fútbol	La mitocondria.	Mitocondria con su membrana externa.
Delimitaciones de la cancha de fútbol	La malla que rodea la cancha es la membrana externa mitocondrial; el rectángulo que marca la zona de juego es la membrana interna mitocondrial; toda el área con pasto es el espacio interno de la mitocondria.	Zonas delimitadas en la célula que cumplen funciones específicas: membrana externa (cerco que rodea la cancha), membrana interna (demarcación rectangular), matriz mitocondrial (la superficie interna de juego).
Jugadores, sus demarcaciones y roles: delantero, portero, mediocampista, defensa	Las proteínas que participan en los procesos de la respiración celular.	Enzimas, coenzimas y cofactores. Ejemplos: Goleador: ATP sintasa Portero: Aceptor final de electrones
Balón	La glucosa.	Molécula de glucosa
Pases del balón	Cada vez que se pasan la pelota los jugadores, unos lo pierden y otros lo ganan, “parece la ganancia y pérdida de electrones”.	Reacciones de oxido-reducción.
Anotación de gol	La producción de energía.	Síntesis de ATP.
Afición o público	La fuerza que hace que se produzca energía.	Gradiente electroquímico que constituye la fuerza motriz para que la ATP sintasa genere ATP
Entrenadores	Indica a las proteínas de la célula qué hacer.	Decisiones celulares basadas en las condiciones y necesidades de la célula.

Nota. Incluye acuerdos finales y respuestas esperadas. Fuente: Construcción propia.

A continuación, se solicitó la identificación de los análogos a los procesos bioquímicos que comprende la respiración celular; es decir: glucólisis, ciclo de Krebs y cadena de transporte de electrones. Para ello, los estudiantes recibieron un cuadro de

correlación con dos columnas, en la primera estaban detallados cada uno de los procesos y en la segunda, debían registrar el análogo (tabla 15).

Tabla 14

Cuadro de correlación entre los procesos de la respiración celular y sus análogos en juego de fútbol

Procesos implicados en la respiración celular	Análogos en un partido de fútbol
Glucólisis Es el primer paso para que las células obtengan energía a partir de la ruptura de una molécula de glucosa en dos más pequeñas. Ocurre en el citoplasma celular.	Entra el balón al campo de juego para el saque inicial.
Ciclo de Krebs Secuencia de reacciones en las que las dos moléculas generadas en la glucólisis se siguen degradando hasta bióxido de carbono y agua. Ocurre en la matriz mitocondrial.	Los jugadores mueven el balón en la cancha de para romper la línea defensiva.
Cadena de transporte de electrones (CTE) Etapa final de la respiración celular donde grupos de proteínas que están en membrana interna de la mitocondria transfieren electrones desde unos compuestos llamados NADH y FADH ₂ hasta quien los acepta al final del proceso: el oxígeno.	Es una jugada de saque de esquina. Es como cuando el balón atraviesa la línea de meta y un defensa es el último en tocar el balón, pero no hay anotación de gol. Entonces un jugador del otro equipo viene y ejecuta el saque y sigue el juego, todo cercano a la portería.
Fosforilación oxidativa Proceso que sucede de manera simultánea a la CTC. Cuando los electrones transitan por cada uno de los integrantes de la CTE se libera energía que es utilizada para bombear protones a través de la membrana interna mitocondrial. Esto crea una diferencia en la concentración de protones a través de la membrana (gradiente de protones) que impulsa la generación de ATP por la enzima ATP sintasa.	Asistentes o público Cuando hay una jugada a gol, los asistentes se emocionan y animan a los jugadores, provocando una fuerza que le llega al goleador del equipo y anota un gol.

Nota. Las respuestas correspondientes a los análogos fueron proporcionadas por un equipo de la capacitación de Contabilidad. Fuente: Construido con base en: (Farina, 2013; Ospina, 2019; Pégola, 2022).

5.3.4 Momento de metacognición

Este fue abordado al término de las actividades de correlación conceptual, buscando valorar la capacidad reflexiva de los participantes sobre lo que aprendieron y las dificultades que enfrentaron para la comprensión del concepto. Por ejemplo, después de haber completado la tabla 14, se planteó al grupo una serie de preguntas, como son: ¿qué les llamó la atención?, ¿qué fue lo más confuso? Después de haber completado la tabla 15, un equipo de Contabilidad evidenció la toma de conciencia a partir de estas respuestas orales:

- “En esta clase aprendimos que hay semejanzas entre un partido de fútbol y la respiración. Podemos explicarla como un conjunto de reacciones químicas que suceden al interior de las células, en un órgano llamado mitocondria. Inicia con una glucosa que entra, se rompe, se va transformando al pasar de una proteína a otra que están ubicadas en las membranas de la mitocondria.”
- “Le puedo decir las fases de la respiración: glucolisis, cadena de pases de electrones y producción de ATP”
- “No sabíamos que eso podía suceder cuando respiramos o cuando lo hace cualquier ser vivo.”
- “¡Menos que cada que respiramos producimos energía!, ¡ATP!”

Al ir externando las opiniones, varios alumnos de Informática cambiaron su actitud, de no querer participar, empezaron a decir qué era lo que no habían entendido y sus compañeros de Contabilidad les explicaban. Se generó un entorno de aprendizaje muy agradable donde los jóvenes se veían relajados, unos decían qué no entendían y otros explicaban.

Algunos estudiantes dijeron que ellos entendían la respiración celular como “meter y sacar aire por la nariz”, “que si uno no respira se muere porque no tiene aire en los pulmones”. Otro estudiante comentó que lo más difícil eran las palabras “rebuscadas” que se

utilizaban. Conforme transcurrió la discusión los estudiantes tomaban conciencia de sus ideas previas. Alguien dijo: “el libro de secundaria no decía eso”.

Al cuestionarles sobre la utilidad de la analogía, manifestaron agrado por “empezar la clase con cosas que sí conocen y de allí ir a lo difícil.” Incluso, un estudiante de Informática dijo que la respiración celular “se parecía a la guardería a donde llevan a su hermana, quien sería la glucosa”. Por la limitación del tiempo no hubo oportunidad de profundizar en ese análogo, pero es de resaltar la facilidad con la que el joven propuso otra analogía para el mismo proceso.

5.4 Construcción del concepto de respiración celular y uso de vocabulario científico

Una vez concluidas las actividades de conceptualización y correlación conceptual se pidió a los estudiantes que propusieran un concepto propio sobre respiración celular de manera verbal, procurando incorporar el vocabulario científico empleado en las sesiones de trabajo. La intención de esta actividad era determinar cuáles alumnos lograron transferir significados de la situación anclaje (el partido de fútbol) hacia el concepto objeto (la respiración celular) y evaluar el grado de comprensión alcanzado por el resto de los participantes.

Durante el breve periodo de tiempo dedicado a la construcción del concepto se observó que los estudiantes de la capacitación de Informática presentaban dificultades en la incorporación del vocabulario científico en su discurso. Lograron describir los agentes que participaban en la analogía empleando palabras cotidianas; sin embargo, las relaciones con los procesos bioquímicos eran menos estructuradas. Por ejemplo, en lugar de emplear el término *fosforilación oxidativa*, recurrieron a expresiones como “*la parte final donde se genera la energía*” o “*la fuerza que se da al final de la respiración celular*”. Con respecto al término *cadena de transporte de electrones*, fue poco empleado; algunos participantes hicieron referencia a “*el paso de electrones por varios componentes que están en la “pared” de la mitocondria.*”

Por otra parte, los estudiantes de la capacitación de Contabilidad pudieron establecer relaciones más detalladas entre los elementos de la analogía y los términos científicos esperados. En sus participaciones incorporaron las palabras: *glucosa, reacciones de oxidación, producción de ATP y cadena de transporte de electrones*, lo que sugiere una apropiación progresiva del vocabulario científico. Es importante mencionar que algunos de los estudiantes replantearon sus explicaciones iniciales conforme avanzaban en los momentos didácticos, así como también nombraban a la mitocondria, haciéndola visible y reconociendo este organelo como el sitio clave donde ocurren las reacciones de la respiración celular.

El registro de las participaciones orales permitió identificar que los estudiantes de Contabilidad, que habían participado con entusiasmo y compromiso en la discusión y consenso de las tablas de correlación conceptual, propusieron definiciones más elaboradas sobre la respiración celular. Esto coincide con lo señalado por Sanmartí (2007), quien destaca que la apropiación del lenguaje científico requiere no solo su exposición, sino su uso activo en contextos de argumentación y comunicación.

La documentación de la observación participante realizada por la docente durante las sesiones de trabajo en el aula corrobora lo descrito en párrafos anteriores respecto a las interacciones establecidas por los estudiantes, la frecuencia de su participacioens orales, actitudes y progreso. Durante las actividades que implicaban socialización y consenso, los estudiantes de Contabilidad colaboraron más con sus compañeros, e incluso, algunos de ellos fueron mediadores al aclarar y explicar varios términos tanto a sus compañeros de capacitación como a los de Informática, empleando palabras más accesibles. Por ejemplo, en el momento de correlación conceptual, se presentó el término *reacciones de óxido-reducción*, a lo que un estudiante de Informática comentó: “¡eso es muy difícil para mí!, ¡la química no es mi fuerte!””, y un estudiante de Contabilidad respondió: “pero si tú eres la estrella del equipo de soccer! Cada vez que te pasan y pierdes el balón estás representando reacciones de oxidación y reducción. Esas reacciones son de ganar y perder algo, ...”. Cabe precisar que los estudiantes de Contabilidad tenían una mayor confianza y soltura durante la socialización de las respuestas en los diferentes momentos del MDA.

En contraste, los estudiantes de Informática conforme avanzaban las sesiones de trabajo fueron disminuyendo la frecuencia de sus participaciones, se observaban reservados y con cierta resistencia a exponer sus ideas. Fue en la última sesión, la de metacognición, cuando retomaron su actitud entusiasta, expusieron lo que no habían entendido, mostraban apertura a los comentarios de los jóvenes de Contabilidad, e incluso, su lenguaje corporal cambió.

En términos generales, se puede afirmar que la analogía desarrollada permitió a los estudiantes reconocer la estructura y dinámica de la respiración celular. Sin embargo, la apropiación del vocabulario científico no fue homogénea entre los participantes de ambas capacitaciones. Los de Contabilidad mostraron un uso más preciso de los términos científicos, así como una mayor capacidad para organizar sus ideas de manera coherente. Por su parte, los alumnos de Informática requirieron un acompañamiento para transitar del lenguaje cotidiano hacia uno más científico.

Los hallazgos de este estudio son consistentes con los reportados en investigaciones internacionales respecto al uso de analogías como estrategia didáctica para facilitar la comprensión de contenidos complejos de Biología en el nivel medio superior. Por ejemplo, Raviolo y Lerzo (2016) demostraron que la analogía de la caja negra favoreció la comprensión del concepto de modelo científico. De igual forma, Ameyaw y Kyere (2018) documentaron mejoras significativas en la comprensión de conceptos relacionados con el ácido desoxirribonucleico (ADN) mediante las analogías de la construcción de una casa y la elaboración de pan. En estudios más recientes, Sanabria-Totaitive y Arango-Martínez (2021) utilizaron exitosamente la analogía de la evolución de los videojuegos para enseñar la evolución biológica.

Capítulo VI. Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo principal analizar los efectos de la implementación de un Modelo Didáctico Analógico (MDA) en el desarrollo de funciones ejecutivas (flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo) y en el aprendizaje de conceptos básicos sobre respiración celular en un grupo de estudiantes de bachillerato que cursan las capacitaciones de Informática y Contabilidad. A partir del análisis detallado de los resultados obtenidos y sustentado en el Modelo de Aprendizaje Cognitivo Consciente Sustentable (MACCS, Galagovski, 2004a), se plantean las siguientes conclusiones:

6.1 Efecto del MDA en el desarrollo de funciones ejecutivas

Los hallazgos en este estudio de caso evidencian que la implementación del MDA mostró un efecto positivo en el desarrollo de dos funciones ejecutivas: flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo. Los resultados del pretest y posttest mostraron mejoras en la autopercepción de los estudiantes respecto a su capacidad para adaptarse a cambios, resolver problemas académicos y manejar información numérica y verbal.

En específico, en la flexibilidad cognitiva, los estudiantes de ambas capacitaciones mejoraron su percepción respecto a su habilidad para adaptarse a los cambios, resolver problemas y modificar estrategias. Este resultado concuerda con lo observado durante los diferentes momentos del MDA en el aula, donde los participantes pudieron adaptarse a una nueva situación de aprendizaje que involucraba un tema curricular complejo. Las diferencias más notables se observaron en los estudiantes de Contabilidad, quienes participaron activamente en las fases de conceptualización y correlación conceptual.

En el caso de la memoria de trabajo, los estudiantes de ambas capacitaciones presentaron avances significativos, sin embargo, los de Contabilidad exhibieron mejores resultados en su habilidad para realizar cálculos y anticipar soluciones (memoria de trabajo numérica); mayor confianza en el uso de lenguaje científico, en la capacidad para redactar textos a partir de ideas propias y para recordar indicaciones verbales y escritas (memoria de trabajo verbal).

6.2 Efecto de la estrategia didáctica en el aprendizaje de conceptos básicos

Los resultados obtenidos tras la intervención didáctica sugieren que el MDA es una estrategia eficaz para facilitar el aprendizaje sustentable de conceptos relacionados con la respiración celular. Se considera que un aprendizaje es sustentable cuando el sujeto logra apropiarse correctamente de la información externa, transformándola en conocimiento nuevo que enriquecerá su estructura cognitiva preexistente, en concordancia con una de las premisas del MACCS (Galagovsky, 2004a).

Uno de los objetivos específicos de esta investigación fue diseñar una analogía para la enseñanza-aprendizaje de la respiración celular y su planeación didáctica siguiendo los lineamientos del MDA. La analogía se centró en la comparación de ese tópico bioquímico con un partido de fútbol, el cual constituyó el dominio base familiar para los alumnos. Su correspondencia estructural y funcional con el dominio objetivo (respiración celular) facilitó la correlación y comprensión de los conceptos científicos.

La planeación didáctica de la analogía generó un conjunto de ideas y actividades que no buscaban cuestionar el conocimiento previo de los estudiantes sobre la respiración celular, para posteriormente introducir un conflicto cognitivo y generar un cambio conceptual. Su lógica fue presentar una situación análoga al proceso celular complejo, promover la motivación intrínseca, la toma de conciencia sobre los conceptos vinculantes (nexo) e indicar tareas para que los propios jóvenes y en colaboración con sus compañeros, construyeran los conceptos sostenidos correctos y completos para la apropiación final del conocimiento. Pero ¿cómo se evidenció lo anterior?, por medio de las respuestas en las hojas de trabajo y de las participaciones orales; en estas últimas, los estudiantes explicitaron en su discurso los conceptos sobre respiración celular que estaban construyendo en su mente, cómo lo estaban haciendo y qué vocabulario empleaban para expresarlo.

Otro objetivo específico fue describir la efectividad del aprendizaje tras la intervención didáctica a través del desarrollo de logros conceptuales sobre la respiración celular y la incorporación del lenguaje científico a su léxico. Los estudiantes pudieron identificar y correlacionar los elementos clave de la respiración celular (glucosa, ATP,

mitocondria, cadena de transporte de electrones, fosforilación oxidativa) con los componentes del partido de fútbol (balón, jugadores, anotación de gol, pases, etc.). Esta correlación favoreció la comprensión general de la estructura y la dinámica de las reacciones que comprende la respiración celular. Todo ello en un nivel general, sin abordar detalles que pudieran confundir o saturar a los estudiantes. Para el grupo de intervención, esto puede reflejar un aprendizaje sustentable, no memorístico, en donde la información externa recibida de diferentes fuentes (compañeros, docente, lecturas científicas) fue incorporada de manera eficiente en su estructura cognitiva, lo cual fue documentado por medio de las respuestas de un equipo de Contabilidad durante el momento final de correlación conceptual.

Los estudiantes de Informática exhibieron dificultades para incorporar términos científicos en sus explicaciones, lo que sugiere que, la analogía con el partido de fútbol facilita la comprensión conceptual, pero se necesitan replantear algunas consignas o combinar con otras estrategias para promover el uso contextualizado del vocabulario científico, tal como lo propone el MACCS, que enfatiza la transferencia consciente de conocimientos desde contextos cotidianos hacia el lenguaje científico (Galagovsky, 2004a).

6.2.1 Diferencias entre las capacitaciones

Los resultados revelaron diferencias significativas entre los estudiantes de Informática y Contabilidad en términos de autopercepción de sus funciones ejecutivas y apropiación del lenguaje científico. Los estudiantes de Contabilidad mostraron un mayor dominio en el uso y aplicación de conceptos científicos y una mayor confianza en sus habilidades cognitivas, mientras que los de Informática requirieron un mayor apoyo para poder transitar de un lenguaje cotidiano a uno científico.

Estas diferencias podrían estar relacionadas con el perfil académico y las habilidades previas de los estudiantes, pues al analizar los resultados del pretest para la flexibilidad cognitiva y la memoria de trabajo (numérica y verbal), los estudiantes de Contabilidad exhibieron medias más altas que los participantes de Informática. Clements et al. (2016), plantean que la educación temprana en matemáticas y de la alta calidad puede

tener beneficios duales: la alfabetización en lectura y matemáticas y en el desarrollo y expansión de los procesos ejecutivos.

6.3 Implicaciones metodológicas del estudio de caso

Uno de los grandes retos de la investigación educativa no sólo es generar y contribuir al conocimiento de un campo de estudio particular, sino garantizar que este refleje y dé prueba de una realidad particular. En ese sentido, el eje central del presente estudio recayó en la estrategia metodológica estudio de caso, a partir de la cual se pudo obtener información válida sobre la realidad analizada, tal como lo plantea Ríos (2020).

La elección del estudio de caso como método de investigación permitió profundizar en el análisis de una intervención didáctica aplicada a un grupo específico de estudiantes de bachillerato, con características propias, lo que aportó información valiosa y contextualizada sobre el impacto de un MDA en el aprendizaje de un tópico complejo y en el desarrollo de funciones ejecutivas.

Con base en lo propuesto por Álvarez y Fabián (2012), el estudio de caso se estructuró en tres etapas: preactiva, interactiva y post-activa. En la etapa preactiva, se definieron los objetivos de la intervención, se seleccionaron a los participantes y se diseñaron los instrumentos de recolección de datos; esta fase permitió delimitar con claridad la observación inicial y establecer una línea base para el análisis posterior. En la etapa interactiva, se llevó a cabo la intervención en el aula, documentando las interacciones, las respuestas de los estudiantes y el desarrollo de las actividades propuestas. Esta etapa fue esencial para captar las aristas de los procesos de enseñanza y aprendizaje, así como para observar las manifestaciones de las funciones ejecutivas en un contexto educativo real. Finalmente, en la etapa post-activa, se realizó el análisis e interpretación de los datos, permitiendo identificar patrones, reflexionar sobre los logros y desafíos de la estrategia didáctica, así como los prospectos de investigación.

Metodológicamente, estas tres etapas ofrecieron una estructura ordenada, flexible y coherente que facilitó no solo la recolección y organización de la información, sino también una comprensión más profunda e integral del fenómeno educativo observado.

El estudio de caso, al centrarse en una situación específica, contribuyó al campo de la didáctica de la Biología, al generar conocimiento contextualizado que puede guiar intervenciones similares en un futuro próximo. También aporta evidencias sobre la utilidad de la estrategia didáctica para abordar contenidos complejos, como la respiración celular, y revela cómo desde el aula es posible fomentar el funcionamiento ejecutivo.

6.4 Implicaciones teóricas y metodológicas del MDA

El MDA representa una intervención didáctica innovadora que en esta investigación implicó una serie de decisiones a nivel metodológico que influenciaron todo el proceso de investigación. Este modelo didáctico orientó el diseño, desarrollo y análisis de la intervención educativa, permitiendo observar cómo las analogías estructuradas a partir de cuatro momentos didácticos facilitaron tanto el aprendizaje de conceptos abstractos y complejos de la Biología como el desarrollo de funciones ejecutivas en la mayoría de los 25 estudiantes que participaron en el estudio.

De la utilidad metodológica de cada uno de los momentos didácticos del MDA se puede destacar: en el momento anecdótico se presenta una situación concreta con consignas que hay que resolver a partir de representaciones mentales y conceptos nexos, buscando poner en contexto a los estudiantes. La base no es cuestionar sus ideas o concepciones erróneas; en el momento de conceptualización se construye en consenso la analogía y se reconocen los elementos clave de ese dominio base (tanto elementos estructurales como lingüísticos). En el momento de correlación se expone a los estudiantes a información científica especializada, y a través de consignas pertinentes se promueve el reconocimiento y correlación de elementos estructurales y funcionales entre ambos dominios. En la fase de metacognición se valora el propio proceso de aprendizaje, haciendo hincapié en el aspecto semántico del vocabulario científico.

Con base en lo anterior, se puede establecer que el MDA tiene un rol dual, tanto es una estrategia de enseñanza eficaz que demanda la aplicación de preceptos didácticos y de evaluación formativa, más allá del logro de respuestas y conductas correctas, como resulta ser una herramienta metodológica importante para la investigación educativa. Su estructura secuencial permite la identificación de evidencias específicas de aprendizaje, dificultades conceptuales y expresiones de las funciones ejecutivas. En el campo de la didáctica de la Biología, estos dos aspectos constituyen una gran oportunidad para explorar cómo enseñar ciencia desde una perspectiva que favorezca el pensamiento analógico y el desarrollo ejecutivo del estudiante.

Otra cualidad importante de la estrategia didáctica empleada fue su apertura para incorporar al lenguaje cotidiano, vocabulario científico. A partir de las consignas y actividades empleadas en los cuatro momentos didácticos fue posible conocer lo que estaban construyendo los estudiantes en su mente y cómo lo estaban haciendo. Para Sanmartí et al. (2021), la actividad científica escolar requiere de prácticas de enseñanza que le confieran sentido al lenguaje que utilizan los estudiantes para comunicarse. Adúriz-Bravo et al. (2009) considera necesario vincular los eventos que nos rodean con los modelos didácticos apropiados para explicarlos y con los lenguajes para argumentarlos. En este sentido, los resultados sugieren que la estrategia empleada no sólo favoreció el desarrollo de conceptos sobre la respiración celular, sino que también pudo contribuir a la mejora de las habilidades lingüísticas de los participantes.

6.5. Prospectos de investigación

Los hallazgos obtenidos en este estudio plantean la posibilidad de incursionar en otras líneas de investigación que puedan contribuir al fortalecimiento del marco teórico y metodológico de la Didáctica de la Biología, específicamente en lo referente a la enseñanza y aprendizaje de procesos abstractos, como el metabolismo celular, así como al desarrollo de habilidades cognitivas superiores en estudiantes de otras áreas de formación para el trabajo e, incluso, de otros niveles educativos.

Los resultados revelan la necesidad de profundizar en investigaciones que examinen con mayor rigor y en distintos contextos educativos el impacto de los modelos didácticos analógicos u otras estrategias que se basen en eventos o situaciones que sean familiares para los estudiantes. Estas estrategias, a través de una combinación de consignas y actividades estructuradas con diferentes niveles de interacción social, demandan diversas habilidades ejecutivas y pueden promover la construcción de conceptos sólidos que vinculen con éxito la información científica a la que estarán expuestos los estudiantes con el conocimiento ya existente en su estructura cognitiva, paradigma del MACCS (Galagovsky, 2004a/2004b).

Asimismo, sería pertinente desarrollar estudios longitudinales que permitan observar los efectos sostenidos de este tipo de intervenciones a lo largo del tiempo, con el fin de identificar si los beneficios observados en el corto plazo (en términos de comprensión de conceptos básicos y promoción del funcionamiento ejecutivo) se mantienen, se fortalecen o se pierden en etapas posteriores.

Otra línea de investigación que puede proponerse es la elaboración y valoración de instrumentos específicos para evaluar funciones ejecutivas en entornos educativos reales, para no recurrir a baterías neuropsicológicas carentes de validez ecológica, lo que permitiría avanzar en la comprensión del vínculo entre cognición, didáctica y aprendizaje sustentable.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, (ESP), 40-49. <https://www.scielo.org.ar/pdf/reiec/nesp/nspa04.pdf>
- Adúriz-Bravo, A., Garófalo, J., Greco, M. y Galagovsky, L. (2005). Modelo didáctico analógico: Marco teórico y ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra). https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp484moddid.pdf
- Álvarez, C. y San Fabián, J. (2012). La elección del estudio de caso en investigación educativa. *Gaceta de Antropología*, 28(1), 1-13. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/20644>
- Ameyaw, Y. y Kyere, I. (2018). Analogy-based instructional approach a panacea to students' performance in studying Deoxyribonucleic Acid (DNA) concepts. *International Journal of Sciences*, 7(05), 7-13. <https://www.ijsciences.com/pub/article/1644>
- Araújo, G., & Azoni, C. (2020). Performance of executive functions in adolescents: Study of intervention with educational robotics. *Revista Psicopedagogia*, 37(112), 5-17. <https://pepsic.bvsalud.org/pdf/psicoped/v37n112/02.pdf>
- Arrese, F., Olivares, J., Villarreal, M., Vincet, N. y Alfageme, V. (2020). Modelo didáctico analógico como mediador de enseñanza y aprendizaje universitario del Sistema Cardiovascular. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 360101-360115. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/5559/6310>
- Ávila, A. (2018). Enfoque sociocultural y algunas aproximaciones en la enseñanza de las ciencias. *Proyectos investigativos en educación en ciencias: articulaciones desde enfoques histórico-epistemológicos, ambientales y socioculturales*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 125-147. https://www.researchgate.net/publication/331047375_Enfoque_Sociocultural_y_algunas_aproximaciones_en_la_Ensenanza_de_las_Ciencias
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), R136-R140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Bergan-Roller, H., Galt, N., Helikar, T., & Dauer, J. (2020). Using concept maps to characterise cellular respiration knowledge in undergraduate students. *Journal of Biological Education*, 54(1), 33-46. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1541001>

- Blair, C., & Razza, R. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647-663. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17381795/>
- Boone, H. & Bonne, D. (2012). Analyzing Likert data. *Journal of Extension*, 50(2). <https://doi.org/10.34068/joe.50.02.48>
- Bull, R., & Lee, K. (2014). Executive functioning and mathematics achievement. *Child Dev. Perspec*, 8, 36-41. <https://doi.org/10.1111/cdep.12059>
- Buttelmann, F., & Karbach, J. (2017). Development and Plasticity of Cognitive Flexibility in Early and Middle Childhood. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01040>
- Carballo, A. (2019). Posibilidades y limitaciones de la neuroeducación. *Mente y Cerebro*, 98, 26-32.
- Cirino, P., Miciak, J., Ahmed, Y., Barnes, M., Taylor, W., & Gerst. E. (2019). Executive function: association with multiple reading skills. *Read. Writ.* 32, 1819-1846. <https://doi.org/10.1007/s11145-018-9923-9>
- Clair-Thompson, H., & Gathercole, S. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745-759. <https://scihub.se/https://doi.org/10.1080/17470210500162854>
- Clements, D., Sarama, J. & Germeroth, C. (2016). Learning executive function and early mathematics: Directions of causal relations. *Early Childhood Research Quarterly*, 36, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2015.12.009>
- Codina, M., Aldana, D., Piédrola, I. y Ramos, I. (2022). Una estructura neurodidáctica para el desarrollo de las funciones ejecutivas en los adolescentes. ¿Es posible desarrollar el control inhibitorio en el aula? *Journal of Education*, 2(2), 118-129. <https://doi.org/10.1344/joned.v2i2.32839>
- Collete, F., Van der Linden, M., Laureys, S., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., & Salmon, E. (2005). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping*, 25, 409-423. <https://doi.org/10.1002/hbm.20118>
- Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, Learning, and Creativity: Frontal Lobe Function and Human Decision-Making. *PLoS Biology*, 10(3), 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293>

- Cortés, C. (2015). *Desarrollo y evaluación de una estrategia didáctica para la enseñanza del tema respiración celular y fermentación en educación media superior* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000737619>
- Costa, T. (2015). *Influência da criação e crítica de analogias por estudantes de química do ensino médio na promoção de interações argumentativa* [Tesis de doctorado, Universidad Federal de Ouro Preto]. <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7499>
- Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., & Grafman, J. (2019). Executive functions. *Handbook of Clinical Neurology*, 163, 197-219. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00011-2>
- Crone, E. A. (2009). Executive functions in adolescence: inferences from brain and behavior. *Developmental Science*, 12(6), 825–830. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00918.x>
- Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. y Massarini, A. (2022). *Biología en context social*. Panamericana.
- De Oliva, J., Aragón, M. y Mateo, J. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 19(3), 453-470. <https://ensciencias.uab.cat/article/view/v19-n3-oliva-aragon-mateo>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annu. Rev. Psychol*, 66, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years Old. *Science*, 333(6045), 959–964. <https://doi.org/10.1126/science.1204529>
- Diamond, A., & Ling, D. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>
- Donovan, C. (2021). Control inhibitorio y regulación emocional: características, diferencias y desarrollo en la etapa preescolar. *Journal of Neuroeducation*, 1(2), 37-42. <https://doi.org/10.1344/joned.v1i2.32758>

- Espy, K. (2004). Using developmental, cognitive, and neuroscience approaches to understand executive control in young children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 379-384. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_1
- Farina, J. (2013). Conceptos previos sobre respiración y función biológica del oxígeno en estudiantes ingresantes a la carrera de Psicología de la Universidad Nacional del Comahue. *Revista de Educación en Biología*, 16(2), pp-31. <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v16.n2.22396>
- Fernández-Abella, R., Peralbo-Uzquiano, M., Durán-Bouza, M., Brenlla-Blanco, J. y García-Fernández, M. (2019). Programa de intervención virtual para mejorar la memoria de trabajo y las habilidades matemáticas básicas en Educación Infantil. *Revista de Psicodidáctica*, 24(1), 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2018.09.002>
- Flores, J., Castillo-Preciado, R. y Jiménez-Miramonte, N. (2014). Desarrollo de funciones ejecutivas, de la niñez a la juventud. *Anales de Psicología/Annals of Psychology*, (2), 463-473. <https://doi.org/10.6018/analesps.30.2.155471>
- Galagovsky, L. (2004a). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 1: el modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 229-240. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3885>
- Galagovsky, L. (2004b). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 2: Derivaciones comunicacionales y didácticas. *Enseñanza de las ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 349-364. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3869>
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales: El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21735>
- Galagovsky, L. y Greco, M. (2009). Uso de analogías para el "aprendizaje sustentable": El caso de la enseñanza de los niveles de organización en sistemas biológicos y sus propiedades emergentes. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 10-33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273320452003>
- García, M. (2012). *Las funciones ejecutivas cálidas y el rendimiento académico* [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/48383>
- Garófalo, S., Alonso, M. y Galagovsky, L. (2014). Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje. El caso del metabolismo de los carbohidratos. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 32.3, 155-171. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1042>

- González-Medina, M. y Rodríguez-García, C. (2022). Escala para medir flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo en estudiantes de bachillerato. *Dilemas Contemporáneos. Educación, Política y Valores*, IX(2). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v9i2.3045>
- Grau, G. y Moreira, K. (2014). Funciones ejecutivas y funciones psicológicas superiores: análisis de sus relaciones a partir de dos tareas. *VI Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología XXI Jornadas de Investigación Décimo Encuentro de Investigadores en Psicología del MERCOSUR*, Universidad de Buenos Aires. <https://www.researchgate.net/publication/276906879>
- Greco, M. y Galagovsky, L. (2005). Reflexiones metacognitivas de los alumnos en un ejemplo de aplicación del modelo didáctico analógico sobre teoría de sistemas en los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 1-5. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRApl179refmet.pdf
- Jacob, R., & Parkinson, J. (2015). The potential for school-based interventions that target executive function to improve academic achievement: A review. *Review of Educational Research*, 85(4), 512-552. <https://doi.org/10.3102/0034654314561338>
- Jiménez-Puig, E., Broche-Pérez, Y., Hernández-Caro, A. y Díaz-Falcón, D. (2019). Funciones ejecutivas, cronotipo y rendimiento académico en estudiantes universitarios. *Revista Cubana de Educación Superior*, 38(2). <http://scielo.sld.cu/pdf/rces/v38n2/0257-4314-rces-38-02-e15.pdf>
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., Gillberg, C., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD-a randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of child & adolescent psychiatry*, 44(2), 177-186. <http://www.klingberglab.se/pub/CompTrainWM.pdf>
- Korzeniowski, C. (2011). Desarrollo evolutivo del funcionamiento ejecutivo y su relación con el aprendizaje escolar. *Revista de Psicología. UCA*, 7(13), 7-26. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/94811>
- Korzeniowski, C., Ison, M., & Difabio, H. (2017). Group cognitive intervention targeted to the strengthening of executive functions in children at social risk. *International Journal of Psychological Research*, 10(2), 34-45. <https://doi.org/10.21500/20112084.2760>
- Kozulin, A. (2000). *Instrumentos psicológicos: La educación desde una perspectiva sociocultural*. Paídos Ibérica.

- Lori, A. (2021). *Eficacia de un programa de entrenamiento en mindfulness en el rendimiento académico, las funciones ejecutivas y el bienestar subjetivo de estudiantes de educación primaria y secundaria españoles e italianos* [Tesis de doctorado, Universidad de Sevilla]. <https://hdl.handle.net/11441/128897>
- Martín-Martínez, I., Chirisa-Ríos, L., Reigal-Garrido, R., Hernández-Mendo, A., Juárez-Ruiz-de-Mier, R. y Guisado-Barrilao, R. (2015). Efectos de la actividad física sobre las funciones ejecutivas en una muestra de adolescentes. *Anales de Psicología*, 31(3), 962-971. <https://doi.org/10.6018/analesps.31.3.171601>
- Martínez, J. (1988). El estudio de caso en la investigación educativa. *Revista Investigación en la Escuela*, 6, 41-50. <https://idus.us.es/items/1bdbb9b0-08ae-4b8b-8fac-12958b993fdf>
- Martínez, M. (1999). El enfoque sociocultural en el estudio del desarrollo y la educación. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 1(1), 16-37. <https://www.redalyc.org/pdf/155/15501102.pdf>
- Meltzer, L., Greschler, M., Davis, K., & Vanderberg, C. (2021). Executive function, metacognition, and language: Promoting student success with explicit strategy instruction. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 6(6), 1343-1356. https://doi.org/10.1044/2021_PERSP-21-00034
- Miyake, A., & Friedman, N. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0963721411429458>
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., Howerter, A., & Wager, T. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: a latent variable analysis. *Cogn. Psychol.*, 41, 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134–140. http://epa.psy.ntu.edu.tw/perception/pdf/Monsell_2003.pdf
- Moreno, C., Korseniowski, C. y Espósito, A. (2022). Procesos cognitivos y ejecutivos asociados a la expresión escrita infantil. *Ocnos. Revista de Estudios Sobre Lectura*, 22(2). https://doi.org/10.18239/ocnos_2022.21.2.2839
- Moscuen, M., Korzeniowski, C. y Espósito, A. (2018). Planificación-organización y control inhibitorio en niños de edad preescolar pertenecientes a diferentes contextos socio-económicos. *Acta Psiquiátrica y Psicológica de América Latina*, 64(1). <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/92494>

- Muchiut, Á., Passamani, A., Sosa, S. y Alegre, R. (2024). Intervenciones neurodidácticas en el nivel secundario. Estrategias para potenciar las funciones ejecutivas en el aula. *Journal of Neuroeducation*, 5(1), 149-162. <https://doi.org/10.1344/joned.v5i1.46967>
- Muchiut, Á., Vaccaro, P., Pietto, M. y Dri, C. (2021). Prácticas pedagógicas orientadas a favorecer las funciones ejecutivas en adolescentes. *Journal of Neuroeducation*, 2(1), 30-43. <https://revistes.ub.edu/index.php/joned/article/view/32164>
- Muchiut, Á., Zapata, R., Comba, A., Mari, M., Torres, N., Pellizardi, J. y Segovia, A. (2018). Neurodidáctica y autorregulación del aprendizaje, un camino de la teoría a la práctica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 78(1), 205-219. <https://doi.org/10.35362/rie7813193>
- Musso, M. (2010). Funciones ejecutivas: un estudio de los efectos de la pobreza sobre el desempeño ejecutivo. *Interdisciplinaria*, 27(1), 95-110. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18014748007>
- Oliva, J. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de la Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 363-384. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1026037>
- OpenAI. (2024). *ChatGPT* (versión del 5 de enero) [DALL·E 3].
- Ospina, N. (2019). *Estudio didáctico epistemológico sobre la enseñanza y el aprendizaje de temas de biología celular y química biológica : parte A: estudios con la mediación de un videojuego ambientado en una célula 3D; parte B: análisis de obstáculos comunicacionales en el procesamiento de la información de un texto sobre desnaturalización proteica* [Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires]. https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6715_OspinaQuintero
- Pandey, A., Hale, D., Das, S., Goddings, A., Blakemore, S., & Viner, R. (2018). Effectiveness of universal self-regulation-based interventions in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, 172(6), 566-575. <https://jamanetwork.com/journals/jamapediatrics/fullarticle/2677898>
- Peredo, R. (2019). Orientaciones epistemológicas vigotskianas para el abordaje psicoeducativo del desarrollo cognitivo infantil. *Revista de Investigación Psicológica*, (21), 89-106. http://www.scielo.org.bo/pdf/rip/n21/n21_a07.pdf
- Pérgola, M. (2022). *Estudio didáctico epistemológico sobre la enseñanza y el aprendizaje de aspectos redox de la respiración celular* [Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires]. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n7053_Pergola.pdf

- Pérgola, M. y Galagovsky, L. (2019). La respiración celular como ejemplo de combustión. Reflexión didáctica desde el análisis del lenguaje químico. *Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias en Debate*, 1. <https://www.researchgate.net/publication/332358131>
- Porta, L. y Silva, M. (2003). La investigación cualitativa: El análisis de contenido en la investigación educativa. *Anuario Digital de Investigación Educativa*, 14. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7015732&orden=0&info=link>
- Portellano, J. (2005). Cómo desarrollar la inteligencia. *Clínica y Salud*, 16(3), 291-293. <https://www.redalyc.org/pdf/1806/180617759006.pdf>
- Quesada, B. (2011). *La respiración celular: Representaciones y conceptos de los estudiantes de bachillerato de la Institución Educativa Departamental Serrezuela de Madrid y de la Fundación Universitaria Juan N. Corpas* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10188>
- Raviolo, A. y Lerzo, G. (2016). Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. *Educación Química*, 27(3), 195-204 <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.003>
- Richland, L., & Simms, N. (2015). Analogy, higher order thinking, and education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(2), 177-192. <https://doi.org/10.1002/wcs.1336>
- Rhodes, S., Booth, J., Palmer, L., Blythe, R., Delibegovic, M., & Wheate, N. (2016). Executive functions predict conceptual learning of science. *British Journal of Developmental Psychology*, 34(2), 261-275. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12129>
- Ríos, P. (2020). *Metodología de la Investigación: Un enfoque pedagógico*. Editorial Cognitus CA.
- Rojas-Barahona, C., Fosters, C., Susperreguy, M. y Carrasco, J. (2017). Funciones ejecutivas y su vínculo con la educación. En C. Rojas-Barahona (Ed.), *Funciones ejecutivas y educación: comprendiendo habilidades clave para el aprendizaje*, (pp. 15-63). Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Romine, C., & Reynolds, C. (2005). A Model of the Development of Frontal Lobe Functioning: Findings From a Meta-Analysis. *Applied Neuropsychology*, 12(4), 190–201. https://doi.org/10.1207/s15324826an1204_2
- Sala, G., & Gobet, F. (2020). Working memory training in typically developing children: A multilevel meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27, 423-434. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01681-y>

- Salinas, I. (2020). ¿Cómo sobrevivir a la enseñanza de metabolismo celular en bachillerato. *Revista Digital Universitaria*, 21(2), 1-11. https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v21_n2_a8.pdf
- Sanabria-Totaitive, I. y Arango-Martínez, A. (2021). La analogía como estrategia en la enseñanza de la evolución biológica. *Praxis*, 17(1), 11-26. <https://doi.org/10.21676/23897856.3312>
- Sánchez-Macías, I. y Aparicio-Herguedas, J. (2021). Evaluar la creatividad y las funciones ejecutivas: propuesta para la escuela del futuro. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 24(2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7880335>
- Sanmartí, N. (2007). Hablar, leer y escribir para aprender ciencia. *La competencia en comunicación lingüística en las áreas del currículo*, 128.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M. y García, P. (2021). Hablar y escribir: Una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 54-58. https://ddd.uab.cat/pub/artpub/1999/164407/cuaped_a1999m6n281p54.pdf
- Sheese, B. y Lipina, S. (2011). Funciones ejecutivas: consideraciones sobre su evaluación y el diseño de intervenciones orientadas a optimizarlas. En S. Lipina y M. Sigman (Eds.), *La Pizarra de Babel: Puentes Entre Neurociencia, Psicología y Educación* (pp. 229-243). Libros del Zolzal.
- Tamayo, O. y Sanmartí, N. (2003). Estudio multidimensional de las representaciones mentales de los estudiantes. Aplicación al concepto de respiración. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 1(1), 181-205. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4657619>
- Titz, C., & Karbach, J. (2014). Working memory and executive function on academic achievement. *Psychological Research*, 78(6), 852–868. <https://doi.org/10.1007/s00426-013-0537-1>
- Thorell, L., Lindqvist, S., Bergman, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 12(1), 106-113. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00745.x>
- Veraksa, A., Bukhalenkova, D., & Almazova, O. (2020). Executive functions and quality of classroom interactions in kindergarten among 5–6-year-old children. *Frontiers in Psychology*, 11, 603776. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.603776>

- Vosniadou, S., Pnevmatikos, D., Makris, N., Eikospentaki, K., Lepenioti, D., Chountala, A., & Kyrianakis, G. (2015). Executive Functions and Conceptual Change in Science and Mathematics Learning. *CogSci*, 2529-2534. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.603776>
- Yacuzzi, E. (2005). El estudio de caso como metodología de investigación: teoría, mecanismos causales, validación. *CEMA Working Papers: Serie Documentos de Trabajo*, 296. <https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/296.pdf>
- Yin, R. (2003). *Case study research: Design and Methods*. Sage Publications.
- Yoldi, A. (2015). Las funciones ejecutivas: hacia prácticas educativas que potencien su desarrollo. *Páginas de Educación*, 8(1), 72-98. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6761511>
- Yoldi, A., Moreira, M., Sahelices, M. y García, E. (2019). Desarrollo e implementación de una propuesta didáctica para la promoción de la función ejecutiva “planificación y organización” en cursos de Física de enseñanza media. Un estudio de caso realizado en Uruguay. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(1), 10. http://www.lajpe.org/mar19/13_1_10.pdf
- Zamorano, R., Gibbs, H., Moro, L. y Viau, J. (2006). Evaluación de un modelo didáctico analógico para el aprendizaje de energía interna y temperatura. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 392-408. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3847>

Anexos

Anexo 1. Carta de consentimiento informado de los padres y tutores legales de los participantes

Carta de consentimiento informado dirigida a padres y/o tutores legales de los alumnos de los grupos v-405 y v-406

El proyecto de investigación en la asignatura de Biología, comprende las *siguientes consideraciones*:

- Profesora responsable: Alina Ysabel Castro Sánchez, estudiante de la Maestría en Didáctica de las Ciencias de la Universidad Autónoma de Querétaro.
- Duración: del 26 de febrero al 6 de marzo de 2024 (semestre 2024-1).
- Lugar: Colegio de Bachilleres Guerrero, plantel 1 Chilpancingo.
- Población: estudiantes de los grupos v-405 y v-406 (capacitaciones de Informática y Contabilidad).
- Asignatura: Biología.
- Carácter de la participación: voluntaria, sin afectación a su calificación en la materia de Biología.

El tratamiento de los datos comprende:



Y se realizará con base en la Teoría sociocultural de Vigotsky, con el objetivo de entender y reflexionar sobre los procesos de aprendizaje y de desarrollo cognitivo en el estudiante adolescente.

Consideraciones del tratamiento de los datos:

- Ética de los datos respecto a aquello que los estudiantes permitan registrar en papel, fotografía, audio y/o video, descartando los datos que consideren no deben ser divulgados; en todo momento se pretende respetar las respuestas del alumnado, así como si deciden no responder alguna pregunta.
- Para salvar la privacidad y el anonimato se utilizarán claves alfanuméricas ($E_1, E_2, \dots E_n$) para referirse a ellos.
- Las fotografías que se utilicen en la comunicación y publicación de los resultados tendrán "pixelado" o difuminado el rostro de los participantes.
- La información transcrita y digitalizada será almacenada de forma segura y será accesible únicamente para las personas autorizadas (profesora-investigadora y directora de tesis).
- Ninguna información personal será divulgada ni utilizada en etapas o estudios posteriores.

Para observar y registrar los datos se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

- Encuestación: se aplicará a cada estudiante una prueba en formato de autoinforme para reunir datos respecto a su desempeño cognitivo. Se realizará en dos momentos: al inicio y al término de la intervención educativa que da origen a la presente investigación.
- Análisis de contenido: se basará en la lectura de las producciones escritas individuales y en equipo que se generen en los distintos momentos de la intervención didáctica.
- Observación participante: consistirá en la observación y registro de las producciones, conductas e interacciones de los estudiantes en el aula de clase.

En caso de otorgar su autorización y consentimiento para que su hijo(a)/tutorado(a) participe en el proyecto de investigación, y de común acuerdo con él/ella, favor de registrar sus datos:

Capacitación de Informática (Grupo v-405)

No.	NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL PADRE/TUTOR
1.	Javier Orozco Alejandro
2.	Ma: Magdalena Miranda Z.
3.	Francisca Angel Valenzuela
4.	Israel Calvario Cruzillo
5.	Selene Palacios abarcar
6.	Rodriguez Gullurda Araceli
7.	Ramos Escobar Marilyn
8.	Elguea Garcia Olga Mirela
9.	Yamil Alb-Yesenia J:kei Venegas Polanco
10.	Esmeralda Arayoni Marquez Cere
11.	Sanchez Peña Rosalba
12.	Adame Encarnacion Ma. Elena
13.	
14.	

Capacitación de Contabilidad (Grupo v-406)

No.	NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL PADRE/TUTOR
1.	Dulce Maria Beltrán Garcia
2.	Nava Morales Carolina
3.	Adelaida Candia Bruno
4.	Ramos Gaspar claudia Bautista Ramos Miriam Adil
5.	Romero Adame Erasmo
6.	Flores Aldavera Irma
7.	Hernandez Santiago Granly
8.	Epitacio Galvez Yuridia
9.	Ydandari Castro Vazquez
10.	Angelica Yazmin Hernandez ga
11.	Juana Ruiz Ramirez
12.	Maria Isabel Sosa Robles
13.	Victorica de Jesus Francisco
14.	

Nombre de la docente investigadora: Alina Ysabel Castro Sánchez

Institución de adscripción: Plantel 1, Chilpancingo (Cobach-Gro)

Programa de posgrado que cursa: Maestría en Didáctica de las Ciencias (Biología)

Institución de procedencia: Universidad Autónoma de Querétaro

Correo electrónico: alinaysa@hotmail.com

Teléfono de contacto: 5646266680

Anexo 2. Formato de escala autoinforme para medir flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo

Preguntas	Nivel de logro				
	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Cuando hay cambio de actividad o tema en la clase, puedo enfocarme en esta nueva actividad (FC1).					
Me adapto a los cambios que se me presentan para lograr los resultados que deseo (FC2).					
Al cambiar de hora clase, dejo de realizar las actividades de la clase anterior y pongo atención a la materia que está empezando (FC3).					
Cuando se me presenta alguna situación académica complicada puedo encontrar alguna alternativa para solucionarla (FC4).					
Cuando mis trabajos no están del todo bien puedo buscar formas diferentes para realizarlos (FC5).					
Puedo realizar los cálculos necesarios a partir de la información de un problema de matemáticas (MTN1).					
Puedo realizar cálculos mentalmente (MTN2).					
Puedo ir anticipando la solución de un problema razonado al ir leyéndolo (MTN3).					
Luego de leer un texto, puedo realizar un escrito al respecto (MTV1).					
Con leer una vez un texto o lectura, puedo recordar lo que he leído (MT 2).					
Puedo redactar un escrito a partir de mis ideas o conocimientos (MTV3).					
Puedo recordar con facilidad indicaciones verbales (MTV 4).					
Puedo recordar con facilidad indicaciones escritas (MTV 5).					

Tomado de "Escala para medir flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo en estudiantes de bachillerato", por M. A. González-Medina y C. L. Rodríguez-García, 2022, *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, IX, p. 9. Todos los derechos reservados, Universidad de Monterrey.

Anexo 3. Carta de autorización para el uso de la escala para medir flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo en estudiantes de bachillerato



20 de febrero de 2024.

Para:

MDM. Cecilia Hernández Garcíadiego
Directora de Tesis
Universidad Autónoma de Querétaro

QBP. Alina Ysabel Castro Sánchez
Maestría en Didáctica de las Ciencias
Universidad Autónoma de Querétaro

Estimadas MDM. Hernández Garcíadiego y QBP. Castro Sánchez, esperamos que se encuentren muy bien.

Respecto a su petición, desde la Universidad de Monterrey (UDEM), a través de sus servidores, Mtra. Claudia Lorena Rodríguez García y Dr. Mario Alberto González Medina, se brinda la debida autorización para que sea utilizada la “Escala para medir flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo en estudiantes de bachillerato” en la investigación que lleva por título “El modelo didáctico analógico y su impacto en la promoción de funciones ejecutivas en estudiantes de bachillerato”.

Sin más por el momento, enviamos un cordial saludo.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Claudia', written over a horizontal line.

Mtra. Claudia Lorena Rodríguez García

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Mario', written over a horizontal line.

Dr. Mario Alberto González Medina

Av. Morones Prieto 4500 Pte.
San Pedro Garza García N. L.
México, C. P. 66238

Tel. +52 81-8215-1000
800-801-UDEM
udem.edu.mx