

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA

DESARROLLO DE COMPETENCIAS INVESTIGATIVAS EN ESTUDIANTES
UNIVERSITARIOS DESDE EL CONTEXTO DEL METABOLISMO ENERGÉTICO:
PROPUESTA DIDÁCTICA BASADA EN ESTUDIOS DE CASO

Trabajo de grado presentado para optar al título de Licenciados en Química

Autores:

Acxel Andrés Ávila Herrera

Diego Andrés Díaz Cruz

Karen Natalia Suaza Beltrán

Director:

Yair Alexander Porras Contreras

Dr. en Innovación e Investigación en Didáctica

Bogotá D.C.

2026

Dedicatoria

Agradezco este momento a Dios, a la vida, a mis padres (Mary y Anderson), a mi familia, a mi pareja (Nicolás) y a mis amigos (Duván, Julián, Mariana, Yeimí y demás), quienes estuvieron presentes durante este proceso académico. Les agradezco la persistencia, los regaños y los esfuerzos; les dedico cada emoción, mis alegrías y mis tristezas, porque han sido parte fundamental de este proceso llamado vida. Agradezco también a mis compañeros Diego y Acxel, ya que con su apoyo pudimos sacar este trabajo adelante, no sé qué hubiera hecho sin ellos. A mi familia, que a pesar de todo siempre estuvo ahí dándome ánimos, y a mi pareja, por ser un apoyo constante en este camino. Estoy agradecida con la vida por poner en ella a personas tan maravillosas, y por eso les dedico estas palabras.

Karen Natalia Suaza Beltrán

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi familia, por ser el pilar fundamental que me acompañó durante todo este proceso. A mi mamá, Marcela Herrera Pérez por su apoyo incondicional, por estar siempre pendiente de cada etapa de este camino y por brindarme su cariño y confianza cuando más lo necesitaba. A mi papá, Carlos Andrés Ávila Salazar por ser una fuente constante de motivación, por enseñarme con su ejemplo a perseverar y por recordarme que nunca debo rendirme ante las dificultades. A mis hermanos, por su compañía incondicional, por estar presentes en cada momento y por hacer más llevadero este camino con su apoyo y afecto. A mis compañeros, Diego Díaz y Natalia Suaza, por compartir conmigo este bonito proyecto, por su compromiso, compañía y por estar presentes tanto en los momentos buenos como en aquellos que representaron mayores desafíos. Gracias por hacer de este proceso una experiencia de aprendizaje y crecimiento compartido. De manera muy especial, dedico este logro a mi hija, Megan Celeste Ávila, quien ha sido mi mayor inspiración y una de las razones más importantes para seguir adelante y alcanzar cada uno de mis objetivos. Todo esfuerzo ha valido la pena al pensar en el futuro que deseo construir para ella. Finalmente, agradezco de corazón a todas y cada una de las personas que, de una u otra manera, hicieron parte de este proceso. Gracias por el amor, la confianza, el apoyo y las palabras de aliento que depositaron en mí. Este logro también lleva un poco de cada uno de ustedes.

Acxel Andrés Ávila Herrera

A mi madre María Cruz y a mi padre Daís Díaz, por ser el equilibrio que me sostuvo en cada etapa, y a mi hermano Luis Cruz, por creer siempre en mí. A mis amigos Brayan, Yair, Diego, Larita y Kevin, por su energía compartida; a mis compañeros Acxel y Natalia, por su paciencia y apoyo; y a mis profesores, en especial al profe Yair, por su guía e inspiración.

Y a mí, por persistir y transformarme en el proceso.

Diego Andrés Díaz Cruz

Tabla de contenido

1. Introducción	6
2. Antecedentes	8
2.1. Antecedentes disciplinares bioquímicos	11
2.2. Antecedentes disciplinares didácticos	13
3. Planteamiento del problema.....	16
4. Objetivos	18
4.1. Objetivo general.....	18
4.2. Objetivos específicos	19
5. Marco Teórico.....	19
5.1. Marco teórico disciplinar bioquímico	19
5.1.1. Bioquímica del ejercicio	19
5.1.2. Macromoléculas.....	20
5.1.3. Ergoespirometría.....	28
5.1.4. Biomarcadores ergoespirométricos.....	30
5.1.5. Antropometría y somatotipos.....	32
5.2 Marco teórico disciplinar didáctico	42
5.2.1 Aprendizaje basado en la indagación/Inquiry-Based Learning (IBL)	42
5.2.2. Competencias Investigativas.....	46
5.2.3. Estudios de caso.....	48
5.2.4. Material didáctico	51
5.2.5. Cartilla Didáctica	52
6. Marco Metodológico.....	54
7. Aspectos metodológicos del proceso de indagación implementado	56
7.1. Caracterización inicial de los participantes	57
7.2. Proceso evaluativo.....	58
7.3. Resultados y análisis por fases del ciclo IBL	64
7.4. Fase de Orientación	65
7.5. Fase de Conceptualización	72
7.6. Fase de Investigación	76

7.7.	Fase de Conclusión.....	90
7.8.	Fase de Discusión	108
7.9.	Síntesis de resultados.....	123
8.	Conclusiones.....	128
8.1.	Recomendaciones	130
9.	Bibliografía	135
10.	Anexos	143
10.1.	Anexo N°1 Consentimiento Informado	143
10.2.	Anexo N°2 Material didáctico diseñado y utilizado: Cartilla didáctica: Las rutas de la energía, explorando el metabolismo desde la química, el cuerpo y el ejercicio.....	143
10.3.	Anexo N°3 Formato hoja de cálculo Excel Proforma Antropometría.....	144

1. Tabla de Figuras

Figura 1 Mapa basado en datos bibliométricos sobre procesos de enseñanza acerca del metabolismo energético	9
Figura 2 Integración metabólica: Integración de los sistemas energéticos.	23
Figura 3 Modelo trifásico de Skinner y McLellan, propuesto en 1981. Vías energéticas utilizadas durante ejercicio físico de intensidad creciente.	30
Figura 4 Biomarcadores medibles por en un ergoespirómetro.	31
Figura 5 Sesión de orientación	65
Figura 6 Ejemplo de productos evaluables de los estudiantes durante la primera fase	68
Figura 7 Análisis estadístico descriptivo SPSS para el primer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.	70
Figura 8 Sesión de Orientación	72
Figura 9 Sesiones de Conceptualización	73
Figura 10 Sesiones de Indagación	78
Figura 11 Análisis estadístico descriptivo para el primer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.....	83
Figura 12 Análisis estadístico de supuesto de normalidad para la diferencia entre el segundo y el primer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.....	85
Figura 13 Análisis estadístico de tamaño de efecto para muestras emparejadas para la diferencia entre el primer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.	85
Figura 14 Análisis estadístico descriptivo para el primer momento de evaluación de la competencia de capacidad de analizar datos empíricos e interpretar resultados en función de la pregunta de investigación.....	89
Figura 15 Sesiones de Conclusión	91
Figura 16 Análisis estadístico descriptivo para el segundo y tercer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.....	94
Figura 17 Análisis estadístico de supuesto de normalidad para la diferencia entre el tercer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.	96
Figura 18 Análisis estadístico no paramétrico de rangos con signo de Wilcoxon para la diferencia entre el tercer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.	96
Figura 19	99
Figura 20 Análisis estadístico descriptivo SPSS para el primer y segundo momento de evaluación de la competencia de análisis e interpretación de los datos empíricos.	101
Figura 21 Análisis estadístico de supuesto de normalidad SPSS para la diferencia entre el tercer y segundo momento de evaluación de análisis e interpretación de datos experimentales.....	103

Figura 22 Análisis estadístico no paramétrico de rangos con signo de Wilcoxon para la diferencia entre el segundo y primer momento de evaluación de análisis e interpretación de datos experimentales.	103
Figura 23 Análisis estadístico descriptivo para el primer momento de evaluación de la competencia de comunicación científica.	106
Figura 24 <i>Sesión de discusión</i>	108
Figura 25 Ejemplos representativos de las transiciones de los discursos de los estudiantes al comunicar conclusiones de su práctica de laboratorio.....	110
Figura 26 Análisis estadístico descriptivo para el primer y segundo momento de evaluación de la competencia de comunicación científica.....	113
Figura 27 Análisis estadístico de supuesto de normalidad para la diferencia entre el segundo y primer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.....	115
Figura 28 Análisis estadístico no paramétrico para la competencia de comunicación científica entre el momento 2 y el momento 1.....	115
Figura 29 Análisis estadístico descriptivo para el segundo y tercer momento de evaluación de la competencia de comunicación científica.....	119
Figura 30 Análisis estadístico de supuesto de normalidad para la diferencia entre el tercer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.	121
Figura 31 Análisis estadístico no paramétrico para la competencia de comunicación científica entre el momento 3 y el momento 2.....	122

2.

Tabla 1 Clasificación y función de las macromoléculas.....	21
Tabla 2 Macromoléculas en el contexto del metabolismo energético y la actividad física ..	25
Tabla 3 Valores de referencia del porcentaje de grasa corporal en hombres y mujeres.	35
Tabla 4 Fases del aprendizaje basado en la indagación	43
Tabla 5 Rubrica de evaluación de competencias investigativas	59
Tabla 6 Triangulación del análisis de los resultados para las tres competencias investigativas evaluadas durante la implementación en los diferentes momentos de evaluación.....	124

1. Introducción

El presente documento expone el desarrollo del proyecto de investigación titulado “Desarrollo de competencias investigativas en estudiantes universitarios desde el contexto del metabolismo energético: propuesta didáctica basada en estudios de caso”, cuyo objetivo es proponer una estrategia de didáctica innovadora que contribuya al desarrollo de competencias investigativas a través del estudio y análisis de algunos procesos de enseñanza y aprendizaje de la bioquímica del ejercicio. Este trabajo surge del análisis e identificación de diferentes dificultades que se presentan en la enseñanza tradicional de la bioquímica y se han reportado en la literatura, entre los cuales se reconoce la tendencia hacia el aprendizaje meramente memorístico de conceptos, desvinculados de su aplicación práctica en la vida de los estudiantes.

Esta propuesta centra sus esfuerzos en el diseño de una cartilla didáctica basada en estudios de caso que articulen el análisis del metabolismo energético con distintos biomarcadores, los somatotipos y un material didáctico contextualizado, lo anterior orientado por un enfoque de aprendizaje basado en la indagación el cual busca contribuir al desarrollo de competencias investigativas en un grupo de estudiantes del curso electivo todo programa de Bioquímica, salud y ejercicio en la Universidad Pedagógica Nacional. La articulación de estos componentes busca propiciar la comprensión crítica del conocimiento científico y su aplicación a contextos reales relacionados con la actividad física, la nutrición y la salud.

El actual documento se organiza en varias secciones que describen el proceso investigativo de manera secuencial. Inicia con la realización de un proceso de revisión y recolección de antecedentes relevantes para el desarrollo de este proyecto, tanto en el ámbito didáctico como en el disciplinar, que fundamentan la pertinencia de la investigación. A continuación, se procede con el planteamiento del problema y la justificación de la investigación, que para los fines de este proyecto pretende responder a la pregunta; ¿De qué manera el diseño de una cartilla didáctica, apoyada en estudios de caso puede contribuir al desarrollo de competencias investigativas en torno al aprendizaje de

metabolismo energético en los estudiantes de la electiva Bioquímica, salud y ejercicio? En miras de cumplir con esta interrogante, se plantearon objetivos generales y específicos que guían la investigación.

En el desarrollo del documento, se presenta el marco teórico el cual será la base para llevar a cabo este trabajo de grado, en el marco disciplinar bioquímico se abordan definiciones fundamentales de la bioquímica del ejercicio, el metabolismo energético, biomarcadores y somatotipos que servirán para estructurar estudios de caso que se usen como vehículo didáctico para abordar el contenido conceptual. En el marco disciplinar didáctico, se analiza el aprendizaje basado en la indagación, las competencias investigativas y se define lo que se entiende por material didáctico y una cartilla didáctica. De igual manera, se pretende que esta propuesta didáctica permita reconocer el potencial didáctico con el que cuenta la ergoespirometría y el análisis somatotípico. Todo lo anterior integrado a los intereses de la línea de investigación Innodilab perteneciente al grupo: Educación en Ciencias, ambiente y diversidad, adscrito al Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN).

A continuación, se desarrolla el marco metodológico, en el cual se describe el enfoque investigativo centrado en el estudio de caso, así como el tipo y diseño de la investigación, de carácter mixto (CUALITATIVO-cuantitativo). De igual manera, se detalla la metodología adoptada para el desarrollo del trabajo de grado. Una vez finalizada la fase de implementación de la propuesta didáctica se procedió a la recolección de los resultados, los cuales tras su análisis permitieron evidenciar transformaciones en las dinámicas de aprendizaje de los estudiantes, particularmente en relación con el desarrollo de competencias investigativas. La interpretación de datos y la comprensión del metabolismo energético en contextos aplicados.

Posteriormente se presenta el análisis de resultados, en el que se discuten los hallazgos a la luz del marco teórico y los objetivos planteados, permitiendo valorar el alcance y las limitaciones de la propuesta implementada. Finalmente se incluyen las

referencias bibliográficas que sustentan los aportes teóricos y metodológicos de esta investigación.

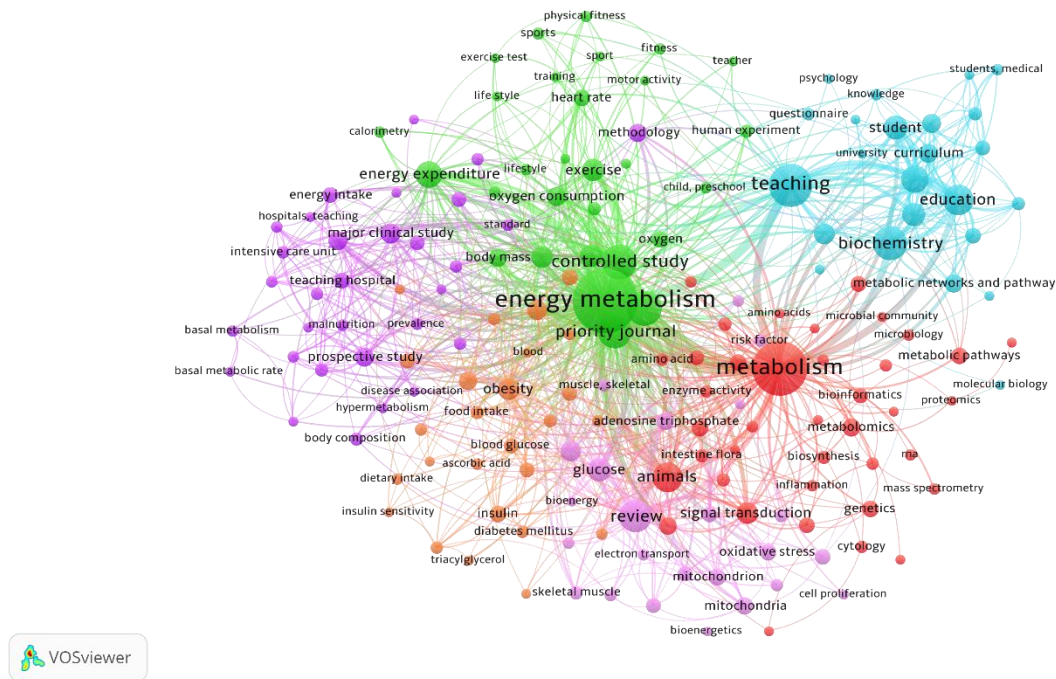
De esta manera, el presente documento expone una estrategia didáctica innovadora que busca consolidarse como una herramienta para fortalecer el vínculo entre la ciencia y la educación, promoviendo una formación crítica, reflexiva y contextualizada, contribuyendo a la superación de algunas de las dificultades asociadas a la enseñanza del metabolismo energético y a las competencias investigativas.

2. Antecedentes

A modo de un primer acercamiento al tema de investigación se realizó una revisión bibliográfica internacional de distintos tipos de publicaciones que se encuentran en las bases de datos de Scopus y Web of Science en los que se haya trabajado con procesos educativos centrados en la enseñanza del metabolismo energético. Para dicha revisión se adelantó un proceso de exclusión de producciones en donde solo se tuvieron en cuenta los documentos publicados entre los años 2000 y 2025, dicha revisión arrojó un compendio de 244 documentos que cuentan con cierta relación a la temática de investigación. Con la ayuda de la herramienta de software VOS viewer se construyó y visualizó una red bibliométrica a partir de coocurrencias con la finalidad de observar en donde se encuentra la mayor producción de material académico con respecto al tema de interés, el resultado de este proceso se expone en la Figura 1 donde se aprecia un mapa basado en datos de la red con 6 clúster, diferenciados por colores (verde, cian, violeta, lila, anaranjado y rojo). Cada clúster representa un núcleo temático que da cuenta de las principales líneas de investigación y/o enfoques conceptuales que más se encuentran presentes en el área de metabolismo energético asociados a procesos de enseñanza.

Figura 1

Mapa basado en datos bibliométricos sobre procesos de enseñanza acerca del metabolismo energético



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante VOSViewer

De la imagen anterior se observa que cada clúster representa una categoría de análisis basada en términos o palabras clave (173 ítems) organizados por un criterio de organización por coocurrencias predeterminado. El primer clúster (rojo) presenta un total de 39 ítems asociados a los procesos bioquímicos y moleculares del metabolismo en donde aparecen principalmente sustancias químicas, estructuras biológicas y diferentes términos relacionados. Además, se incluyen términos vinculados con enfoques ómicos y técnicas analíticas avanzadas de análisis químico que se usan en este tipo de estudios, cabe resaltar la ausencia de términos relacionados directamente con la ergoespirometría. En general los términos en este clúster resaltan que hay un interés en la investigación por comprender la regulación metabólica en condiciones fisiológicas y patológicas.

El segundo clúster (púrpura) concentra un total de 31 ítems centrados en términos relacionados con estudios de medicina clínica y evaluación del estado metabólico en contextos hospitalarios. Este grupo se caracteriza por contar con términos relacionados con líneas de investigación orientadas a la aplicación del conocimiento del metabolismo energético a la práctica clínica, particularmente en pacientes con alteraciones metabólicas; sin embargo, resaltamos que no hay una visibilidad de procesos de rehabilitación o prevención de estas condiciones médicas.

El tercer clúster (verde) cuenta con un total de 29 ítems, que muestran un sesgo de interés en el metabolismo energético y su relación concisa con la actividad física, el ejercicio y la fisiología humana. La presencia de algunos términos como ácido láctico, gasto energético, actividad motora, condición física y experimentos humanos revela un enfoque profundo muy vinculado a la fisiología humana y la comprensión de cómo el ejercicio y estilo de vida modulan los procesos metabólicos. Así, este clúster implica que para estudiar en esta área de investigación es fundamental ligarla al metabolismo energético y a la fisiología, y la actividad física como moduladores del gasto energético.

El cuarto clúster (anaranjado) con un total de 26 ítems parece proponer que es importante tener en cuenta y abordar en estos estudios diferentes enfermedades/condiciones metabólicas que interfieren en el metabolismo energético refiriéndose principalmente al metabolismo de la glucosa, la insulina y los lípidos. La presencia de diferentes variables clínicas que indican patologías relacionadas a la nutrición y autorregulación metabólica del cuerpo humano caracteriza a este clúster como uno centrado en áreas de producción de conocimiento enfocadas en la asociación del metabolismo energético con la dieta, el estado nutricional y enfermedades crónicas no transmisibles muy presentes en la actualidad, de este grupo de términos se evidencia la importancia de considerar las interacciones de la alimentación al tratar estos temas.

El quinto clúster (lila) agrupa un total de 24 ítems que resaltan la importancia del núcleo energético del metabolismo energético, integra diferentes rutas metabólicas fundamentales como la glucólisis, la oxidación de ácidos grasos, la cadena de transporte de electrones y la Fosforilación oxidativa. La presencia de términos como ATP, mitocondria y

respiración mitocondrial evidencia que en investigaciones similares hay un interés por comprender cómo se genera y regula la energía a nivel celular en diferentes tejidos.

Por último, el sexto clúster (cian) también de 24 ítems muestra las coocurrencias relacionadas con los procesos de enseñanza y aprendizaje vinculados al aprendizaje de la bioquímica y el metabolismo en contextos de educación superior, especialmente en el área de la educación médica. Se resalta la aparición del currículo universitario y la metodología del aprendizaje basado en problemas como el principal enfoque didáctico trabajado en los estudios analizados, lo que muestra que hay cierto interés por metodologías activas que faciliten la comprensión de contenidos complejos como rutas metabólicas y procesos de oxidación-reducción, sin embargo es de resaltar la poca visibilidad de propuestas didácticas diversas, lo que refuerza la pertinencia del uso de enfoques como el Aprendizaje Basado en la indagación. Además, la presencia de términos disciplinares propios de áreas como la bioquímica y la biología molecular muestra que hay un interés por propiciar una interdisciplinariedad en este tipo de investigaciones.

De acuerdo a la revisión adelantada, se identifica que existen ciertas carencias en términos de la producción científica en torno a los procesos de enseñanza y aprendizaje del metabolismo energético. La revisión conjunta de los clústeres evidencia un vacío importante sustentados en tres aspectos principales, el primero se refiere a la necesidad del diseño y aplicación de estrategias didácticas variadas e innovadoras que permitan una comprensión significativa del metabolismo energético, la segunda es una articulación de fundamentos bioquímicos, fisiológicos y sus aplicaciones prácticas, y por último, la incorporación de metodologías innovadoras como la ergoespirometría para el estudio del metabolismo energético y sus asociados.

2.1. Antecedentes disciplinares bioquímicos

Maughan, R., & Gleeson, M. (2004) en su libro *The Biochemical Basis of Sports*, sustenta el rendimiento deportivo abordando los fundamentos bioquímicos y la importancia de las rutas metabólicas. El presente estudio aborda temas pertinentes relacionados con los mecanismos de fatiga, metabolismo energético en distintas actividades físicas, nutrición

deportiva y transformaciones metabólicas en el entrenamiento. Se centra en explicar de forma precisa y aplicada la bioquímica relacionada con la actuación atlética, este trabajo aporta al actual proyecto una comprensión sobre la orientación a estudiantes y profesionales en la ciencia del deporte.

Macedo et al. (2024). En su artículo Reconocimiento Médico Deportivo y Ergoespirometría de origen nacional, aborda el reconocimiento médico deportivo y ergoespirometría, generando una valoración fisiológica del deportista a partir de pruebas clínicas y bioquímicas reuniendo información valiosa para mejorar el rendimiento del deportista a partir de un estrés fisiológico que permite obtener una respuesta del organismo. El trabajo presentado aporta al actual proyecto una búsqueda de implementación inmediata para la enseñanza y la aplicación práctica.

Indeportes Antioquia. (2022) en su artículo *Control Biométrico del Entrenamiento Deportivo de origen nacional*, parte de un punto multidisciplinario a través de una evaluación, control y seguimiento en relación con el nivel de preparación del deportista a través de observaciones por etapas en un constante monitoreo para la mejora del rendimiento deportivo y caracterizar al participante. Este estudio aporta al proyecto relevancia para la formación en ciencias del deporte, al combinar datos obtenidos en laboratorio con análisis funcionales, para así de esta manera tomar decisiones sustentadas.

Giraldo, J. et al., (2016), en el documento *Sistemas Energéticos en el ejercicio de la Universidad Tecnológica de Pereira*, realizan un análisis sobre la importancia de las proteínas, los carbohidratos y los lípidos como sustratos energéticos presentes al momento de hacer ejercicio con prioridad en adaptaciones metabólicas. Expone cómo durante el ejercicio se producen y hacen uso de los diferentes sustratos energéticos mediante el ejercicio, los sistemas metabólicos comprometidos y la regulación bioquímica en manifestación del entrenamiento y de la actividad física. Esto permite comprender el funcionamiento de las distintas vías metabólicas según su participación en el momento de realizar un esfuerzo físico.

Moreno et al. (2022), presentan un artículo en la Revista de Medicina del Instituto Mexicano del Seguro Social, donde abordan la relación entre la actividad física objetiva, el perfil bioquímico y el somatotipo en médicos residentes, una población con alta prevalencia de sedentarismo, durante el confinamiento por COVID-19. Se centra en utilizar los pasos (medidos por dispositivos móviles) como indicador del objetivo de la actividad física. Su objetivo fue describir la actividad física, el perfil bioquímico y el somatométrico de esta población y determinar qué variables de composición corporal y bioquímicas se correlacionan con el número de pasos diarios como medida objetiva y cuantificable de la actividad física.

Illaraza L. (2011), propone pruebas de ejercicio con análisis de gases espirados, una herramienta útil para procesos de diagnóstico y pronóstico en pacientes con enfermedades cardiovasculares, pulmonares, neuromusculares e incluso metabólicas, dejando ver cómo la energía es transformada incluso a nivel celular a través de diferentes procesos metabólicos. El estudio se centra en pruebas de ejercicio con análisis de gases espirados en pacientes con cardiopatía o neumopatía grave, aunque el estudio no se centra netamente en deportistas, los análisis y uso de las herramientas ergoespirométricas contribuyen significativamente al análisis del metabolismo identificado por los estudios y ensayos realizados en los pacientes.

2.2. Antecedentes disciplinares didácticos

Rojas López, D. A., & Barreto, J. W. (2014) presentan una unidad didáctica organizada en formato cartilla llamada; Más allá del Cannabis: ¡Un problema en contexto! Esta cartilla organiza contenidos, actividades y guías para docentes interesados en trabajar el sistema nervioso desde una clase de ciencias con fines preventivos del consumo de sustancias psicoactivas. El documento busca responder a la necesidad de formular propuestas pedagógicas contextualizadas que conecten la educación en ciencias con problemáticas sociales reales, todo esto desde un enfoque de enseñanza para la comprensión con el que se concluyó que los recursos didácticos contextualizados fortalecen la comprensión en ciencias. Este trabajo se relaciona directamente con el presente proyecto, ya que se trata de

un referente nacional que inspira el formato con el que trabajaremos y se constituye en una herramienta exitosa para el uso de este tipo de recursos en el aprendizaje en ciencias.

Kulak y Newton (2014) propusieron una guía metodológica que implementa el aprendizaje basado en casos aplicados a cursos de bioquímica. El trabajo surgió por la necesidad de superar la enseñanza tradicional de la bioquímica que se centra en el aprendizaje memorístico, mientras fomenta la resolución de problemas y la apropiación de conceptos propios de la bioquímica. Diseñaron escenarios reales que, aunados al aprendizaje colaborativo demostraron que el Aprendizaje Basado en Casos trae resultados positivos en la motivación y comprensión conceptual. Su experiencia es un referente internacional que es relevante para nuestro trabajo de grado ya que nos orienta en la estructuración del estudio de caso como vehículo pedagógico para la enseñanza de la bioquímica.

Joshi y colaboradores (2017) realizaron una evaluación de la aplicación del aprendizaje basado en casos clínicos en cursos de bioquímica médica. El trabajo se hizo con estudiantes universitarios, comparando un enfoque activo contra métodos tradicionales. La metodología usada incluyó una evaluación antes y después de la intervención. Los resultados mostraron que la metodología activa incrementa la motivación y la retención de los conocimientos relacionados a la bioquímica. Este antecedente internacional reafirma la utilidad de los estudios de caso en la enseñanza de la bioquímica y se constituye en una base que sustenta la pertinencia del uso de metodologías activas en la enseñanza de la bioquímica, como el aprendizaje basado en la indagación entre otros.

Santana et al. (2020), presentan un artículo que explora la aplicación y los efectos de IBL en el nivel superior, incluyendo estudios en ciencias de la salud. En el estudio se puede identificar como fortaleza del IBL la promoción del pensamiento crítico, el aprendizaje significativo cooperativo, el compromiso en el autoaprendizaje y el desarrollo de habilidades competitivas e investigativas en los estudiantes. También aborda las debilidades institucionales ante esta metodología, sirve como modelo para la implementación didáctica de la indagación en el proyecto.

Campos, L, C. (2024) en su artículo titulado “Enseñanza de competencias investigativas en educadores mediada por la tecnología en Educación Superior. Revisión sistemática”, se enfoca en cómo las tecnologías digitales han mediado los procesos de formación investigativa en educadores. Realizan una revisión sistemática cuidadosa que identifica prácticas y herramientas que han permitido promover competencias investigativas destacando la importancia de fortalecer el perfil investigativo en el profesorado. Este documento aporta al presente proyecto concepciones acerca de cómo se han abordado las competencias investigativas en contextos formativos.

Schneider y Wildt (2009) plantean que el aprendizaje mediante la investigación es un escenario propicio para el desarrollo de competencias investigativas, en tanto que sitúa al estudiante frente a procesos que le demandan formular preguntas, organizar procedimientos, analizar información y construir conclusiones fundamentadas. Desde este punto de vista, las competencias investigativas no se limitan al dominio de técnicas de investigación, sino que incluyen la movilización integrada de conocimientos, habilidades y procesos reflexivos necesarios para participar de forma autónoma en la construcción de conocimiento. Este enfoque es pertinente para el presente estudio ya que subyace al desarrollo progresivo de competencias investigativas en una propuesta de aprendizaje basada en la indagación.

Amaya A. (2018) expone la integración disciplinar entre el estudio de la bioquímica y su aplicabilidad en la ciencia del deporte y la actividad física. En su trabajo de grado realizado en el grupo de investigación: Educación en Ciencias, Ambiente y Diversidad adscrito al Departamento de Química de la UPN: utiliza la caracterización bioquímica de deportistas como eje integrador que fomenta la articulación entre la formación de profesores y el campo de la bioquímica del ejercicio. Su aporte al presente proyecto de investigación se sustenta principalmente en su propuesta diseñada a modo de unidad didáctica que enfoca el estudio del metabolismo del ejercicio hacia estudiantes de la licenciatura en Deporte de la UPN.

3. Planteamiento del problema

En la actualidad, vivimos en contextos marcados por costumbres sedentarias que propician un aumento de enfermedades metabólicas, por ello la enseñanza de la bioquímica adquiere un papel fundamental para la formación de profesionales en distintos programas académicos que sean capaces de comprender a profundidad estas temáticas más allá de un contexto academicista y con una mirada integral que posibilite la transferencia de dichos conocimientos en su vida cotidiana. En los cursos de pregrado de bioquímica frecuentemente se les asigna a los estudiantes memorizar los nombres y estructuras químicas de las moléculas involucradas en las rutas metabólicas, es normal que los estudiantes memoricen el orden de los metabolitos y enzimas de las rutas metabólicas unos días antes del examen (Salame et al 2022). Promover una enseñanza de la bioquímica que vincule el metabolismo energético con la salud y el bienestar, desde un enfoque didáctico centrado en el desarrollo del pensamiento crítico puede fortalecer la comprensión conceptual y la formación de hábitos de vida coherentes con el conocimiento científico, para esto es importante resaltar que la educación bioquímica se encuentra con ciertos retos en la actualidad.

En Colombia, autores como Lucumí (2017) reconocen la dificultad en la selección de contenidos en bioquímica, al resaltar que existe una gran brecha entre los resultados de la investigación científica y lo que se enseña en las instituciones de educación superior; al mismo tiempo resalta que el origen de muchas de las problemáticas o retos asociados a la enseñanza de la bioquímica se deben a la naturaleza abstracta de los conceptos, un problema bien conocido por los profesionales en la enseñanza de la química, problema que también señalan algunos autores como Villafañe et al. (2021), quienes encuentran que muchos estudiantes tienen problemas para la comprensión de la regulación energética y el entrecruzamiento de rutas metabólicas durante el estudio de la bioquímica.

En el ambiente de educación superior donde hay una amplia formación deportiva o en salud existe una carencia en materiales didácticos aplicables que aseguren la comprensión de dinámicas propias de la bioquímica y la regulación del metabolismo

energético, lo anterior se constituye en un problema en la enseñanza ya que como lo expresa Lucumí (2017) “Tanto el dominio del lenguaje específico de la bioquímica como las herramientas de imágenes diseñadas para facilitar la comunicación, pueden constituirse en obstáculos e introducir errores de interpretación”. Esta afirmación que se ve reforzada cuando autores como Salame, Abid et al (2022) concluyen que la percepción de los alumnos acerca de los enfoques que mejoran el aprendizaje y entendimiento de las metabolismo energético incluyen: Estudiar y dibujar diagramas, mirar desde una perspectiva amplia, entender cómo los diferentes pasos se relacionan y la integración de demostraciones y actividades (p.288) Con base en lo anterior es posible reconocer la necesidad de diseñar material didáctico cuidadosamente elaborado que proporcione las estrategias pertinentes para la enseñanza de la bioquímica acorde a las necesidades de los alumnos.

En el contexto de la UPN la formación en el campo del deporte, la recreación y las ciencias afines a estos ámbitos se ha visto promovida y fortalecida por la propuesta pedagógica de la sede de Valmaría de la Universidad Pedagógica Nacional, la cual integra tanto investigación de Carácter interdisciplinario como práctica y experimentación aplicadas como ejes guías del aprendizaje. Haciendo uso de este enfoque la Facultad de Educación Física de la UPN promueve una comprensión interdisciplinaria del cuerpo humano y los diferentes procesos que tienen lugar al interior del mismo; donde la biología, la química, la fisiología y la educación física convergen para formar docentes-investigadores desde su práctica pedagógica y deportiva.

Las instalaciones de la sede Valmaría de la UPN cuentan con laboratorios de fisiología del ejercicio y disponen de herramientas como la ergoespirometría, pruebas de antropometría, y electrocardiogramas. Estas mediciones no suelen ser presentadas en formatos didácticos que faciliten a los estudiantes la apropiación del conocimiento. Lo anterior constituye, por un lado, un campo de acción bastante amplio donde es posible aprovechar los recursos con los que cuenta la universidad para ponerlos al alcance de la comunidad universitaria y que ésta se interese por este tipo de temáticas y, por otro lado, deja entrever la falta de recursos didácticos que articulen todas estas temáticas. Esta

problemática es reconocida por estudiosos de la fisiología del ejercicio (área afín a la bioquímica del ejercicio) como López Chícharo (2006; p. 7) quien resalta que la amplia cantidad de publicaciones de artículos científicos en relación con el ejercicio físico hace necesario que un profesional docente realice una revisión de la información más importante, con el fin de estar al día de los continuos avances en este campo, esto es reconocido también por Lucumí (2017) como una de las principales problemáticas de la educación en bioquímica en la actualidad al afirmar que el diseño de los contenidos a abordar en la bioquímica debe construir situaciones de aprendizaje que impliquen producciones interesantes (trabajos de investigación, proyectos, acciones comunitarias, etc.) de los alumnos en los que puedan implicar sus propios intereses (p.5).

Teniendo en cuenta las necesidades anteriormente enunciadas de la educación en bioquímica proponemos el diseño de una cartilla didáctica, basada en estudios de caso que aborde la caracterización de diferentes atletas de alto rendimiento, y brinde un recurso aplicable y fácil de acceder para la enseñanza del metabolismo energético y sus biomarcadores asociados, desde una perspectiva crítica. Esto nos lleva a formularnos la siguiente pregunta de investigación.

Pregunta Problema: ¿De qué manera la implementación de una cartilla didáctica, apoyada en estudios de caso puede contribuir al desarrollo de competencias investigativas en torno al aprendizaje de metabolismo energético en los estudiantes de la electiva Bioquímica, salud y ejercicio?

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Contribuir al desarrollo de competencias investigativas como la formulación de hipótesis, el análisis e interpretación de datos empíricos y la comunicación científica en estudiantes del curso electivo Bioquímica, Salud y Ejercicio a través de una propuesta didáctica centrada en estudios de caso contextualizados en el metabolismo energético.

4.2. Objetivos específicos

- I.** Identificar las ideas iniciales que circulan en los estudiantes sobre metabolismo energético y las competencias investigativas.
- II.** Diseñar una cartilla didáctica estructurada en estudios de casos y basada en el aprendizaje por indagación, la cual contribuya al desarrollo de competencias investigativas en el contexto del metabolismo energético.
- III.** Evaluar el desarrollo de competencias investigativas de los participantes en el proceso de aprendizaje centrado en el metabolismo energético.

5. Marco Teórico

5.1. Marco teórico disciplinar bioquímico

5.1.1. Bioquímica del ejercicio

La química en sus múltiples dimensiones aporta como ciencia una comprensión más profunda de los fenómenos que estudia, entre las distintas ramas de esta ciencia se encuentra la bioquímica, más específicamente la bioquímica del ejercicio, que “desde sus orígenes en 1960, el campo académico de la bioquímica del ejercicio se ha expandido... para incluir un amplio conocimiento sobre la biología molecular y una serie de otros mecanismos celulares y bioquímicos que regulan las respuestas agudas y adaptaciones crónicas relacionadas al rendimiento deportivo, salud/enfermedad humana, nutrición y funcionamiento celular” (Tiidus, MacPherson, LeBlanc & Josse, 2021, p. 1)

El médico colombiano Ramírez Hoffmann (2002) afirma que la actividad física entendida como acondicionamiento físico debe hacer parte de los hábitos de vida de las personas ya que esta juega un papel importante en la salud. Por lo tanto, es importante que el ejercicio físico se maneje como un medicamento prescrito por un profesional en salud. Esta afirmación subraya que no sólo las prácticas activas son útiles, sino que existe una

necesidad de conocimiento especializado (como la bioquímica del ejercicio) para comprender los procesos internos del cuerpo y optimizar sus beneficios.

Algunos de los conocimientos que aporta la bioquímica del ejercicio son las distintas vías por medio de las cuales se produce energía en el cuerpo. El ejercicio físico de alto rendimiento moviliza estas vías de obtención de energía para sostener la demanda energética, por tanto centrar la atención en el mismo proporciona una fuente de información muy valiosa, ya que posibilita un conocimiento más profundo acerca de dichas vías, entre estas podemos encontrar algunas como la ruta de los fosfágenos, la glucólisis, la beta oxidación de ácidos grasos y demás, el uso de una o varias de estas vías dependerá de la intensidad del ejercicio, su duración y del tipo de esfuerzo que se efectúe durante la actividad física Giraldo, et al., (2016) En esta línea, San Millán y Brooks (2017) explican que la flexibilidad metabólica (capacidad del organismo para alternar entre la oxidación de grasas y carbohidratos) es un indicador del estado de entrenamiento y de la eficiencia de las distintas rutas del metabolismo energético. Con lo anterior sale a flote la importancia de conocer esta información para promover el pensamiento crítico en torno a las necesidades metabólicas de cada persona.

5.1.2. Macromoléculas

La investigación en bioquímica del ejercicio y otros campos modernos asociados han concluido que a partir del trabajo realizado por el músculo existen diferentes formas para la producción de energía (Nelson et al., 2013). a través de sustratos provenientes de la reserva del organismo o ingesta diaria de nutrientes el músculo esquelético logra satisfacer las demandas energéticas, la energía necesaria para que el músculo pueda realizar correctamente sus funciones provienen de carbohidratos, grasas, fibras, proteínas, vitaminas y minerales Giraldo, et al., (2016). Las biomoléculas son de gran importancia para las funciones vitales que realizan las células en los seres vivos debido a la formación de estructuras más complicadas conocidas como macromoléculas (Hernández, V., 2019) A continuación. La Tabla 1 presenta una adaptación sobre la clasificación y función de las macromoléculas.

Tabla 1*Clasificación y función de las macromoléculas.*

Macromoléculas			
Carbohidratos	Lípidos	Proteínas	Ácidos Nucleicos.
Se conocen por ser el mejor sustento de energía para el crecimiento, la actividad física y mental Son compuestos orgánicos fundamentales para el funcionamiento vital de los organismos a través de energía que se transforma a nivel celular.	Se obtienen de grasas; estas proporcionan energía y forman bajo la piel una capa. Los lípidos son componentes orgánicos de los seres vivos, insolubles en agua, son altamente energéticos almacenados en el tejido adiposo.	Se conocen por ser la materia prima de las células y tejidos, y producen hormonas y otras sustancias químicas activas. Las proteínas son compuestos orgánicos que constituyen del 50 al 70% de los organismos, son macromoléculas constituidas por aminoácidos. Proporciona cuatro calorías por gramo	Estos compuestos orgánicos se ubican en el núcleo de la célula, constituido s por unidades estructurales denominadas nucleótidos
Clasificación			

Monosacáridos	Lípidos simples:	De acuerdo con su forma:	ADN
:	-Grasas neutras o triglicéridos	-Fibrosas	ARN
-Ribosa	Lípidos compuestos:	-Globulares	-Ribosomal
-Desoxirribosa	-Glicerol más un fosfato o un	En función de su nivel de	-Mensajero
-Galactosa	azúcar	organización estructural	-De
-Fructosa	Lípidos asociados:	-Estructura primaria	transferenc
-Sacarosa	-Diferentes a los otros tipos de	-Estructura secundaria	ia
Oligosacáridos:	lípidos, este grupo incluye	-Estructura terciaria	
-Maltosa	esteroides como el colesterol, así	-Estructura cuaternaria	
-Lactosa	como hormonas esteroideas entre	Atendiendo a su función	
-Sacarosa	las que se encuentran la	biológica:	
	testosterona y la progesterona,	-Estructurales (queratina,	
	además de compuestos que	elastina)	
	cumplen actividad enzimática.	-Contráctiles (actina, miosina)	
	Ceras:	-Hormonales (insulina,	
	-Lípidos con ácidos grasos	glucagón)	
	unidos a alcoholes.	-De transporte (hemoglobina)	
	Lípidos líquidos:	-De defensa (inmunoglobulinas)	
	- Aceites y derivados	-Enzimáticas	
	Lípidos sólidos:		
	-Ceras, cebos, jabones		
	Líquidos semisólidos:		
	- Mayonesas, mantequilla		

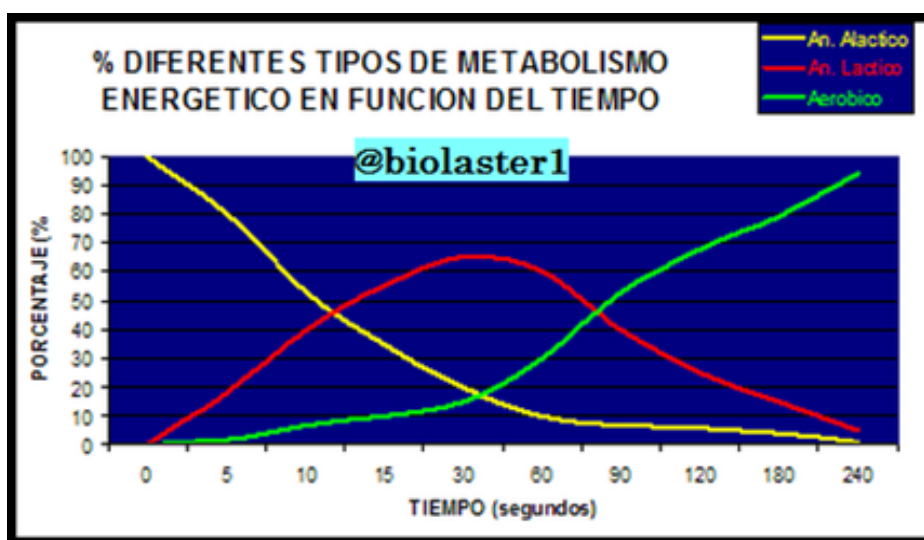
Nota. Adaptado de Hernández (2019). Obtención de energía necesaria para que el músculo esquelético pueda desarrollar correctamente su función. Giraldo (2016)
Adaptado de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH)

El estudio de las macromoléculas en el ambiente deportivo permite entender la bioquímica del ejercicio a partir de procesos biológicos y energéticos coordinados. Las macromoléculas implicadas en el metabolismo, los carbohidratos, lípidos y proteínas son

los sustratos que el organismo transporta para mantener la producción de energía en forma de Adenosin Trifosfato (ATP), debido a que este es el compuesto energético esencial que permite la contracción muscular (Stokes et al., 2018). Todos los sistemas que aportan energía se activan de forma simultánea en el momento que el músculo trabaja. No obstante, cada sistema que aporta energía predomina según la duración y la intensidad del esfuerzo. En la Figura 2 se muestra la contribución porcentual de los distintos tipos de metabolismo energético en función del tiempo durante la actividad física, uno de los mecanismos fundamentales en los procesos energéticos del organismo.

Figura 2

Integración metabólica: Integración de los sistemas energéticos.



Nota. Tomado de Biolaster. (2025). Recuperado el 4 de noviembre de 2025, desde <https://www.biolaster.com/rendimiento-deportivo/metabolismo-energetico/integracion-metabolica/>

En la Figura 2 se puede observar un ejemplo que explica los diferentes tipos de metabolismo energético en función del tiempo y esfuerzo transcurrido, se exponen tres diferentes trayectorias del gráfico. La curva de color amarillo descendente corresponde al metabolismo anaeróbico aláctico o sistema del fosfágeno, el cual utiliza de forma directa el adenosín trifosfato (ATP) y fosfocreatina (PCr) almacenados en el músculo. Se caracteriza

por no requerir oxígeno y no producir lactato; es una fuente rápida de energía, la cual se usa en esfuerzos muy cortos y explosivos, por ejemplo, un levantamiento de pesas. La duración de este metabolismo está entre 6 y 10 segundos aproximadamente. Por otro lado se puede detallar la curva de color rojo ascendente perteneciente al metabolismo anaeróbico láctico conocido mayormente como glucólisis anaeróbica es la ruta metabólica donde la glucosa se degrada sin oxígeno, se caracteriza por producir ATP a partir de glucosa o glucógeno muscular, genera ácido láctico o lactato, lo que genera la sensación de cansancio o fatiga muscular, se activa en esfuerzos de la alta intensidad que tienen un promedio de duración de 30 segundos a 2 minutos, ejemplo carreras de velocidad donde la duración es limitada por la acumulación de lactato y protones que reducen la contracción muscular.

El trayecto de la línea verde señala el metabolismo aeróbico u oxidativo. Está vinculado con el proceso de respiración celular (ciclo de Krebs y cadena de transporte de electrones). Se caracteriza por requerir oxígeno, utilizar en menor medida proteínas y en mayor medida carbohidratos y grasas, y producir gran cantidad de ATP de manera lenta. Se activa en esfuerzos de larga duración y moderada intensidad. Ejemplo. Maratón o ciclismo de fondo Giraldo, et al., (2016) Las macromoléculas se degradan en el metabolismo energético de manera cooperativa, este comportamiento ocurre cuando el ejercicio es extenso y prolongado (Martín Laura et al., 2017). Los carbohidratos almacenados como el glucógeno muscular se hidrolizan, obteniendo glucosa-6-fosfato, molécula que ingresa en la glucólisis para la producción de piruvato, un mediador clave para el metabolismo celular, o en condiciones anaeróbicas, la producción de lactato (Guillamón, A. R. et al., 2015). Cuando el esfuerzo es constante y perseverante, la β -oxidación de ácidos grasos se vuelve una prioridad aportando acetil-CoA al ciclo de Krebs (Trujillo Rodríguez, A. V. et al., 2020). El sistema aeróbico puede usar metabolitos y macromoléculas como glucosa, grasas e incluso proteínas como sustrato, no obstante, el aporte proteico puede variar en condiciones normales, llega a representar solo el 2% al 3% del total energético, este valor puede aumentar hasta llegar a un 10% cuando se agotan las reservas de glucógeno. Esto demuestra que según la disponibilidad energética las macromoléculas actúan de manera jerárquica y dinámica según la intensidad del esfuerzo. A continuación, en la Tabla 2 se

exponen diferentes macromoléculas involucradas en los variados procesos del metabolismo energético.

Tabla 2

Macromoléculas en el contexto del metabolismo energético y la actividad física

<i>Macromoléculas con Función Metabólica</i>					
<i>Macromolécula</i>	<i>Rutas metabólicas</i>	<i>Etapas importantes</i>	<i>Producto energético</i>	<i>Momento de predominancia</i>	<i>Enzimas clave</i>
Carbohidratos	Glucolisis, Ciclo de Krebs, Fosforilación oxidativa, glucogenólisis y glucogénesis	Glicolisis. Piruvato. acetil-CoA. Ciclo de Krebs. Cadena de transporte de electrones.	ATP NADH FADH ₂	Ejercicios de alta intensidad y también de corta duración (anaeróbico). Ejercicios de mediana y larga duración (aeróbico)	Hexoquinasa. Fosfofructoquinasa. Piruvato quinasa. Deshidrogenasa

Lípidos o grasas	Beta-oxidación Ciclo de Krebs, gluconeogénesis	Beta-oxidación ácidos grasos,	Presenta un ATP mayor que en los carbohidratos	Predomina en ejercicio de baja a media intensidad y larga duración en un proceso aeróbico.	Acil-CoA deshidrogenasa, carnitina palmitoiltransferasa I, tioforasa
Proteínas	Desaminación, ciclo de Krebs y gluconeogénesis	Desaminación para eliminar grupo amino Conversión de esqueletos carbonado a intermediarios metabólicos Ciclo de Krebs y gluconeogénesis	ATP, producción de glucosa en gluconeogénesis	Predomina en ejercicios prolongados o en estados de actividad física durante el ayuno prolongado.	Aminotransferasas, glutamato deshidrogenasa, enzimas del ciclo de Krebs.

Fosfocreatina	Sistema Fosfageno	Transferencia rápida de grupo fosfato para regenerar ATP en el músculo.	ATP rápida y de poca duración.	Predominante en actividades de intensidad máxima y corta duración	Creatina quinasa
ATP (Adenosin tri-fosfato)	Energía celular directa	Mecanismo universal de almacenamiento y transferencia de energía en células.	Energía directamente utilizable para contracción muscular y procesos celulares.	Fundamental en todas las actividades celulares, siempre está presente.	ATPasa, enzimas quinasa

Nota. Adaptada de la Universidad de Sevilla (Juan Tejero et al., 2020)

En La Tabla 2 se puede detallar al momento de hablar de rendimiento deportivo como cada macronutriente cumple roles cruciales. Los carbohidratos son una reserva de energía seleccionada cuando el ejercicio es intenso o de corta duración. La Tabla 2 muestra las rutas principales como la glucólisis, ciclo de Krebs y cadena de transporte de electrones, generando como producción de energía moléculas de ATP, NADH y FADH₂ las cuales predominan en ejercicios anaeróbicos muy intensos y cortos también en ejercicios aeróbicos de media y larga duración. El cuerpo recurre primero a los carbohidratos porque se degradan rápido, son productivos cuando el deportista necesita potencia o resistencia moderada generando energía eficiente. (Bean et al., 2017; González. Gross et al., 2001), Los lípidos y grasa se usan para ejercicios extensos y moderados, las grasas son la fuente

principal de energía cuando el esfuerzo es prolongado y de baja a media intensidad. La Tabla 2 muestra la principal ruta metabólica conocida como Beta-oxidación y ciclo de Krebs, en la producción de energía genera más ATP que los carbohidratos, pero con lentitud predominando en ejercicios aeróbicos de larga duración, las grasas son el combustible de reserva debido a que duran mucho más tiempo, son menos que los carbohidratos e ideales para resistencia (Bean et al., 2017; Vivagym et al., 2025) Por otro lado, las proteínas no son la fuente principal de energía, pero pueden usarse cuando los carbohidratos y lípidos se agotan, se usan en procesos importantes como Desaminación, conversión a intermediarios del ciclo de Krebs y gluconeogénesis estos predominan en esfuerzos muy extensos o en estados de ayuno, el cuerpo tiende a usar proteínas como energía sólo en circunstancias extremas, porque su función principal es participar en la construcción del músculo y tejidos mas no resultan eficientes como combustible (Urdampilleta et al., 2012; Bean et al., 2017).

5.1.3. Ergoespirometría

La ergoespirometría se considera el estándar para evaluar el desempeño físico mediante el análisis del intercambio gaseoso durante el ejercicio incremental. El ergoespirómetro permite medir de manera directa variables como el consumo de oxígeno (VO_2), la producción de dióxido de carbono (VCO_2) y el cociente respiratorio (RER), parámetros que se relacionan de forma directa con el metabolismo energético (Berenguel, 2020). Este método “proporciona información precisa sobre la respuesta cardiorrespiratoria al ejercicio y sobre los umbrales respiratorios, fundamentales para la prescripción de entrenamiento y la investigación de la eficiencia metabólica” (Berenguel Senén A. 2023), por esto el hecho de contar con esta herramienta en la UPN lo hace un recurso de alto valor investigativo y con un gran potencial pedagógico asociado en lo referente a la bioquímica del ejercicio.

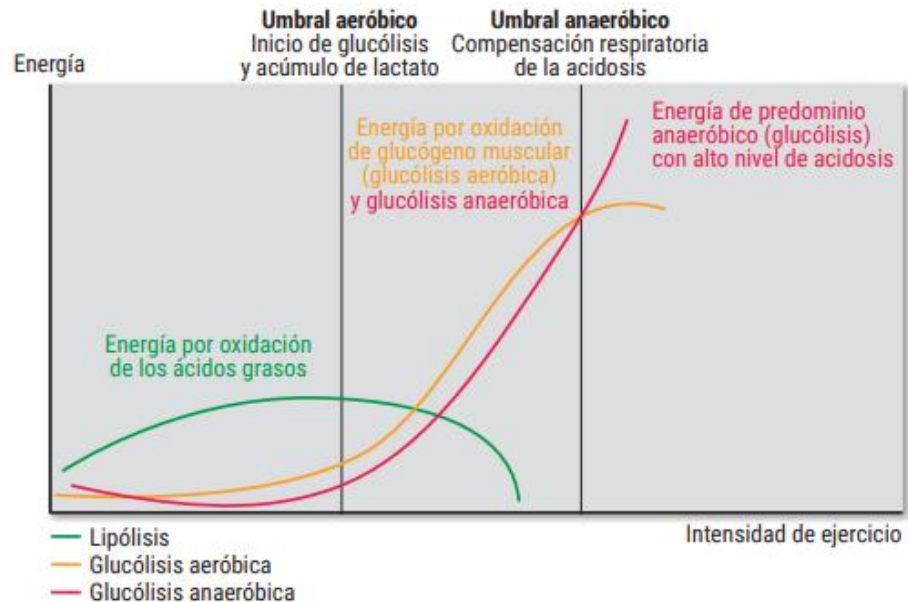
La interpretación de la ergoespirometría se apoya en el sistema de nueve gráficas de Wasserman, que permiten identificar los umbrales ventilatorios (VT_1 y VT_2), analizar el comportamiento del pulso de oxígeno y determinar la eficiencia ventilatoria. Estas variables permiten diferenciar si las limitaciones son de origen cardiovasculares, respiratorios o

metabólico (Arena 2007), Entender los resultados de estas pruebas en el contexto de la bioquímica del ejercicio permite vincular biomarcadores dinámicos con el metabolismo energético ligado a el suministro de energía. Por ejemplo, en pruebas de potencia se relaciona con el uso predominante de la vía del fosfágeno, mientras que esfuerzos de velocidad y agilidad movilizan la glucólisis anaeróbica; por su parte, la resistencia prolongada está ligada al metabolismo aeróbico y al uso de lípidos. Así también, la composición corporal y la condición cardiorrespiratoria reflejan la función del metabolismo aeróbico y la importancia del uso de lípidos y carbohidratos en la dieta.

Con los datos obtenidos por una prueba ergoespirométrica se puede graficar simultáneamente el comportamiento de algunas de las principales vías metabólicas involucradas en la producción de energía en función de la intensidad del ejercicio, tal como se muestra en la figura 3. En esta gráfica se puede observar que, a baja intensidad, prima la oxidación de los ácidos grasos (lipólisis), esta se caracteriza por una producción sostenida pero moderada de energía. Al aumentar la intensidad y con el transcurso del ejercicio, será posible llegar a un incremento progresivo de la glucólisis aeróbica, mostrando una mayor elección del uso de los hidratos de carbono como sustratos energéticos en el ejercicio y, por último, al aproximarse al umbral anaeróbico (VT_2), la deficiencia de O_2 en el organismo en contraposición al exceso de CO_2 empuja al cuerpo hacia un uso principal de la glucólisis anaeróbica, que se asocia con una muy rápida producción de energía, la elevación de la concentración de lactato y la acidosis metabólica. Esta transición entre las diferentes rutas de obtención de energía metabólica es correlacionable con variables ergoespirométricas como el consumo de oxígeno y el cociente respiratorio, lo que permite interpretar funcionalmente el metabolismo en el ejercicio. Desde un punto de vista pedagógico, esta representación gráfica es de alto valor didáctico, pues favorece la comprensión de conceptos abstractos como las conexiones entre rutas o vías metabólicas, la elección de los ejercicios en función de los sustratos energéticos y la respuesta fisiológica del organismo frente al esfuerzo.

Figura 3

Modelo trifásico de Skinner y McLellan, propuesto en 1981. Vías energéticas utilizadas durante ejercicio físico de intensidad creciente.



Nota. Tomado de: Berenguel, A. (2020). Ergoespirometría. Sociedad Española de Rehabilitación Cardio-Respiratoria.

https://aula.campuspanamericana.com/Cursos/Curso01623/Temario/MRehab_Cardiaca/M1T6Texto.pdf

5.1.4. Biomarcadores ergoespirométricos

Según Qui et al. (2023) “Un biomarcador es una característica biológica que puede ser medida y evaluada en un organismo y puede ser usada para indicar el estado fisiológico de dicho organismo, pueden ser moléculas, células, tejidos o indicadores fisiológicos”. En el caso del presente proyecto de investigación se exponen en el Figura 4 los distintos biomarcadores a tener en cuenta, algunos de ellos siendo; el cociente respiratorio (RER), la concentración de lactato, el umbral ventilatorio, el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) y la frecuencia cardíaca, ya que por un lado es posible inferir cómo se ve influenciado el metabolismo energético gracias a estos indicadores bioquímicos y

fisiológicos que se producen durante el ejercicio, y por otro lado, se constituyen en los biomarcadores medibles en una prueba de esfuerzo máximo en un ergoespiómetro, como el que está presente en el laboratorio de fisiología de la UPN.

Figura 4

Biomarcadores medibles por en un ergoespiómetro.



Nota. Elaboración propia basada en la información tomada de Sociedad Española de Rehabilitación Cardio-respiratoria (2023). Ergoespiometría, y Universidad Complutense de Madrid. (2015). Electrocardiografía básica.

Estos parámetros informan acerca de la eficiencia de las distintas rutas del metabolismo energético y su relación con el estado de salud, por lo que su conocimiento y divulgación es esencial para la educación en ciencias del deporte y la promoción de hábitos de vida saludables. Como afirma Berenguel Senén médico especializado de la Sociedad Española de Rehabilitación Cardio-respiratoria (2023) “se pueden utilizar los datos obtenidos de la ergoespirometría (VO_2 y VCO_2) para, mediante la utilización de las fórmulas estequiométricas propuestas por Frayn o con la tabla de Zunt (que utiliza el RER), calcular la tasa de oxidación de grasas y carbohidratos, además de elaborar unos mapas metabólicos que sirvan de medición fácil e indirecta del metabolismo mitocondrial. Si a estas determinaciones le añadimos la medición del lactato, tal y como propusieron Íñigo San Millán y George Brooks en 2017, se obtiene un mapa metabólico de función 100 % mitocondrial”, de esta manera es posible realizar un análisis a profundidad del metabolismo energético que permita tanto a estudiantes como a docentes integrar y relacionar los resultados del ergoespirómetro con diferentes factores fisiológicos o nutricionales.

5.1.5. Antropometría y somatotipos

Según RAE (Diccionario de la real Academia de la lengua española, 2014) antropometría es el estudio de las proporciones del cuerpo es una disciplina que se encuentra estrechamente relacionada con la actividad física, ya que permite evaluar el crecimiento, la composición corporal y el estado nutricional de una persona. La antropometría se fundamenta en la estandarización de datos cuantitativos y cualitativos, con el propósito de identificar características como la forma corporal, las dimensiones, el crecimiento, el funcionamiento del organismo, la relación con el ejercicio y la nutrición, entre otros aspectos.

Las medidas antropométricas corresponden a un conjunto de parámetros corporales específicos que son recomendados por organismos normativos de referencia en cineantropometría. Estas mediciones se realizan bajo protocolos estandarizados, los cuales permiten obtener datos confiables y comparables. En este contexto, el consenso internacional establecido por la *International Society for the Advancement of*

Kinanthropometry (ISAK, 2001) proporciona lineamientos claros para la correcta evaluación antropométrica, garantizando la validez y precisión de los resultados obtenidos.

Estas medidas hacen referencia a la evaluación de dimensiones corporales específicas, las cuales permiten describir y analizar la composición y proporcionalidad del cuerpo humano. Entre las principales medidas antropométricas se encuentran la masa corporal, la estatura, los pliegues cutáneos, los perímetros corporales y los diámetros óseos. Estas mediciones aportan información relevante sobre la distribución de los tejidos corporales y son utilizadas para estimar componentes como la masa muscular, la masa grasa y la masa ósea, aspectos fundamentales para el análisis del estado físico y de salud del individuo. Para la correcta realización de las mediciones antropométricas es fundamental contar con instrumentos adecuados que garanticen la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos. Entre las herramientas más utilizadas se encuentran las cintas antropométricas, el estadiómetro y la balanza, las cuales deben cumplir con criterios de calibración y estandarización.

Las cintas antropométricas se emplean para la medición de perímetros corporales y la localización precisa de distintos puntos anatómicos, como los sitios de pliegues cutáneos. Se recomienda el uso de cintas metálicas, como la cinta Lufkin (W606PM), debido a su mayor estabilidad y precisión. En el caso de utilizar cintas de fibra de vidrio, estas deben ser calibradas periódicamente para evitar errores en las mediciones. El estadiómetro es el instrumento utilizado para medir la estatura y la altura sentado del individuo. Generalmente se encuentra fijo a una pared, lo que permite una correcta alineación del cuerpo durante la medición. Este dispositivo cuenta con una pieza deslizante que se ajusta hasta la parte superior de la cabeza, y se recomienda que dicha pieza disponga de un mecanismo de bloqueo o freno que contribuya a una mayor precisión en la medición.

La balanza es un instrumento tradicional empleado para la medición del peso corporal. Las balanzas mecánicas con pesas presentan una precisión aproximada de 100 gramos y han sido ampliamente utilizadas en evaluaciones antropométricas. En trabajos de campo es común el uso de balanzas de resorte, aunque estas suelen ser menos precisas. Por

su parte, las balanzas electrónicas o digitales cuentan con una precisión cercana a los 50 gramos, facilitan su transporte y uso, y son ampliamente aceptadas en la práctica antropométrica. En todos los casos, es indispensable contar con pesos de calibración para asegurar la exactitud de los resultados.

Durante el proceso de medición antropométrica pueden presentarse errores asociados a la técnica, al evaluador o a las condiciones de medición, lo que hace necesario considerar variables como la precisión y la confiabilidad de los datos obtenidos. En este sentido, la International Society for the Advancement of Kinanthropometry establece un reglamento estandarizado a nivel global que permite comparar resultados de manera objetiva. Entre los lineamientos propuestos por la ISAK, se indica que las mediciones deben realizarse en el lado derecho del cuerpo del evaluado. El evaluador es quien se desplaza para tomar las diferentes medidas, las cuales deben realizarse como máximo dos veces; en caso de existir diferencias significativas, se procede a promediarlas para obtener un valor más preciso. Asimismo, se recomienda que el sujeto se encuentre en ayunas durante al menos ocho horas y que utilice vestimenta ligera. Para mejorar la exactitud, se emplea un lápiz demográfico con el fin de marcar puntos anatómicos de referencia que guiarán la toma de medidas. Generalmente, las mediciones siguen una secuencia de arriba hacia abajo.

De acuerdo con el manual de mediciones antropométricas, el evaluado debe mantener una postura erguida, con la cabeza alineada y la mirada al frente, dirigida hacia un punto fijo. Las medidas básicas incluyen el peso corporal, la talla, la talla sentada y la envergadura de brazos (distancia entre las puntas de los dedos medios con los brazos extendidos). Por otra parte, las mediciones de perímetros permiten estimar la masa muscular. Entre las principales se encuentran la circunferencia de la cintura, cadera, brazo relajado, brazo contraído, muslo medio y pantorrilla. en cuanto a los pliegues cutáneos, estos se utilizan para estimar el porcentaje de grasa corporal mediante el uso de un plicómetro, evaluando zonas como el tríceps, bíceps supraespinal, cresta iliaca, abdomen, muslo y pantorrilla. finalmente, se consideran los diámetros óseos, como los de muñeca, humero y rodilla.

Existen también otros métodos para evaluar la composición corporal, como el índice de masa corporal (IMC) y el porcentaje de grasa corporal, los cuales permiten obtener una visión general del nivel de adiposidad. El IMC relaciona la masa corporal con la estatura de la persona, y según la Organización Mundial de la Salud, es un indicador útil para evaluar el estado nutricional. Su fórmula es: $IMC = \frac{Peso (Kg)}{altura (m)^2}$ Los rangos establecidos son: desnutrición (<18,5), normal (18,5–24,9), sobrepeso (25–29,9) y obesidad (≥ 30) (Organización Mundial de la Salud), la Tabla 3 indica los rangos establecidos.

Sin embargo, el IMC no constituye un diagnóstico definitivo, ya que no distingue entre masa muscular y masa grasa. Por ejemplo, una persona con alta masa muscular puede clasificarse erróneamente como sobrepeso.

La importancia de la grasa corporal es que aporta energía, regula la temperatura corporal, aislar y proteger órganos vitales como los riñones. Las mujeres tienen un mayor porcentaje con respecto a los hombres, más o menos el porcentaje en las mujeres es de 11-12% y en cuanto a hombres va de 8-19%, según Diabetrics la diferencia de grasa es que el cuerpo y tejido femenino como la glándula mamaria, está por debajo de este rango de grasa corporal, también encontramos la grasa almacenada, esta es la que sus organismos conservan como reserva energética para el cuerpo.

Tabla 3

Valores de referencia del porcentaje de grasa corporal en hombres y mujeres.

	Delgado	Óptimo	Ligero Sobrepeso	Sobrepeso	Obeso
Mujeres	<15%	15,1-20,9%	21-25,9	26-31,9%	>32%
Hombres	<8%	8-15,9%	16-20,9%	21-24,9%	>25%

Es importante saber el porcentaje porque en base en eso se puede llevar un control de sobrepeso y obesidad, porque a partir de eso se plantea estrategias y programas para promocionar la actividad física junto con hábitos, al tener un rango óptimo de porcentaje se previene enfermedades. Una de las principales variables de precisión es el Error Técnico de Medición (ETM), el cual se define como el desvío estándar de mediciones repetidas e independientes realizadas sobre un mismo sujeto. El ETM se expresa en las mismas unidades de la variable evaluada. Se distinguen dos tipos de ETM: el ETM Intra evaluador, que se presenta cuando un solo antropometrista realiza todas las mediciones, y el ETM Inter evaluador, que ocurre cuando las mediciones son realizadas por dos o más evaluadores. Este último suele ser mayor, especialmente cuando existen diferencias en la técnica de medición entre los evaluadores. El ETM se encuentra asociado con la media de la variable medida; por ejemplo, en el caso de los pliegues cutáneos, valores bajos de ETM suelen observarse cuando las medias son bajas, mientras que valores altos de ETM se relacionan con medias más elevadas. Para facilitar la comparación del error entre diferentes variables o poblaciones, se utiliza el ETM relativo (%ETM), el cual expresa el error como un porcentaje de la media total de la medición y es equivalente al coeficiente de variación. Como variable de confiabilidad se emplea el coeficiente de correlación intraclass (CCI), el cual se calcula a partir de un análisis de varianza (ANOVA). El CCI refleja el grado de correlación entre mediciones sucesivas realizadas sobre un mismo sujeto y la capacidad del método para discriminar entre individuos. Este coeficiente es adimensional, positivo y presenta valores entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una alta confiabilidad y concordancia entre las mediciones.

La estructura corporal presenta combinaciones físicas particulares que pueden influir en el rendimiento del individuo en sus actividades deportivas. Sin embargo, no es posible comparar directamente a dos atletas, aun cuando presenten características corporales similares, debido a las diferencias en la ejecución de la disciplina, los métodos de entrenamiento y la interacción de factores biológicos, psicológicos y sociales. El conocimiento del cuerpo, por tanto, no solo permite identificar las características predominantes del individuo, sino que también contribuye a optimizar su rendimiento

deportivo. La musculatura humana posee una alta capacidad de adaptación al estilo de vida del sujeto. Cuando una persona realiza actividad física de manera regular, su masa muscular tiende a aumentar como respuesta a las demandas del ejercicio. Por el contrario, la inactividad física puede conducir a una menor masa muscular, lo cual puede afectar negativamente el rendimiento físico y la salud general del individuo.

La antropometría y el estado de salud mantienen una relación estrecha, especialmente en aspectos como la adiposidad corporal, la distribución de la grasa y la variabilidad del peso corporal. Los problemas cardiovasculares y metabólicos se encuentran directamente relacionados con una distribución inadecuada de la grasa corporal, así como con niveles elevados de grasa total y con el índice de masa corporal, lo que resalta la importancia de la evaluación antropométrica en el ámbito de la salud.

El somatotipo, fue concebido como una entidad fija de origen genético. Sin embargo, las concepciones actuales consideran el somatotipo como una característica de tipo fenotípico, susceptible de cambios a lo largo del tiempo debido a factores como el crecimiento, el envejecimiento, el ejercicio físico y la nutrición (Carter & Heath, 1990). En este sentido, el somatotipo proporciona información sobre la composición corporal actual del individuo y se expresa mediante tres componentes numéricos que representan el grado de endomorfismo, mesomorfismo y ectomorfismo. El endomorfismo representa la adiposidad relativa del individuo; el mesomorfismo describe la robustez o magnitud musculo esquelética; y el ectomorfismo corresponde a la linealidad o delgadez relativa del cuerpo. El somatotipo se expresa mediante una combinación de tres números, por ejemplo, 3–5–2, que se leen en el orden correspondiente a endomorfismo, mesomorfismo y ectomorfismo. Estos valores indican la magnitud relativa de cada componente. En cada uno de ellos, las calificaciones entre 2 y 2,5 se consideran bajas; entre 3 y 5, moderadas; entre 5,5 y 7, altas; y valores iguales o superiores a 7,5 se consideran muy altos (Carter & Heath, 1990).

El análisis del somatotipo permite describir y comparar deportistas de diferentes niveles, caracterizar los cambios corporales asociados al crecimiento y al envejecimiento,

analizar las diferencias morfológicas entre hombres y mujeres, y constituye una herramienta útil para el análisis de la forma corporal en distintos contextos. Actualmente, el método Heath-Carter es el más utilizado para la determinación del somatotipo, debido a que proporciona una descripción general y objetiva del físico del individuo. El método Heath-Carter contempla tres formas de determinación del somatotipo: el método fotográfico, el método antropométrico y un método combinado que integra ambos enfoques. El método fotográfico se basa en la estandarización de imágenes del sujeto; el método antropométrico utiliza mediciones corporales específicas para estimar el somatotipo; y el método combinado emplea tanto la información visual como las mediciones antropométricas. No obstante, el método antropométrico es considerado el más preciso y confiable, en comparación con el método fotográfico.

El método antropométrico Heath-Carter es un procedimiento ampliamente utilizado que requiere equipamiento específico y mediciones precisas. Entre los instrumentos necesarios se encuentran un estadiómetro con cabezal móvil, una balanza, calibres para medir diámetros óseos y pliegues cutáneos, así como una cinta flexible para la medición de perímetros corporales. Para el cálculo del somatotipo se realizan diez mediciones fundamentales: estatura en extensión máxima, peso corporal, cuatro pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal y pantorrilla medial), dos diámetros óseos (biepicondilar del húmero y del fémur) y dos perímetros corporales (brazo flexionado en tensión máxima y pantorrilla) (Norton & Olds, 1996).

La precisión en la toma de estas mediciones es fundamental para garantizar la fiabilidad del método. La estatura y los perímetros se registran con una exactitud aproximada de 1,0 mm, los diámetros óseos con una precisión de 0,5 mm y los pliegues cutáneos con una presión controlada de 0,1 mm cuando se utiliza un calibre Harpenden (Norton & Olds, 1996). Esta rigurosidad técnica permite obtener datos consistentes y comparables entre evaluaciones. El cálculo del somatotipo puede realizarse mediante tres procedimientos: el uso de una planilla proforma, la aplicación de ecuaciones derivadas de dicha planilla o mediante programas computarizados especializados, como LifeSize. El procedimiento manual mediante la planilla proforma consiste en registrar y corregir las

mediciones para obtener las calificaciones correspondientes a los tres componentes del somatotipo: endomorfismo, mesomorfismo y ectomorfismo (Norton & Olds, 1996). El endomorfismo se determina a partir de la suma de los pliegues cutáneos de tríceps, subescapular y supra espinal, ajustados por la estatura del sujeto, lo que permite estimar la adiposidad relativa. El mesomorfismo evalúa la robustez musculo esquelética en relación con la estatura, calculando a partir de los diámetros óseos y perímetros musculares corregidos por pliegues cutáneos, mediante la expresión $\text{Mesomorfismo} = (D/8) + 4,0$, donde D representa la suma algebraica de las desviaciones correspondientes (Norton & Olds, 1996). Finalmente, el ectomorfismo se calcula a partir del cociente entre la estatura y la raíz cúbica del peso corporal, lo que refleja la delgadez o linealidad relativa del individuo. No obstante, estos componentes no se presentan de manera aislada, sino que los individuos suelen manifestar combinaciones de los tres, en distintas magnitudes, lo que evidencia la interacción entre la genética y el entorno.

El método Heath-Carter se caracteriza por su objetividad, reproducibilidad y sistematización, lo que permite su aplicación en diferentes contextos mediante procedimientos manuales o digitales. Por estas razones, constituye una herramienta valiosa para la evaluación antropométrica en los ámbitos científico, clínico y deportivo, facilitando un análisis detallado y comparativo de la composición corporal (Norton & Olds, 1996). No es posible adoptar una postura determinista que atribuya exclusivamente al estado físico el buen o mal desempeño de un individuo en un encuentro atlético, ya que se han observado diferencias significativas en el rendimiento de personas con constituciones corporales similares. Esto se debe a que el desempeño deportivo está influenciado por múltiples factores, entre ellos la disciplina practicada, los métodos de entrenamiento, así como variables de tipo biológico, psicológico y social que interactúan y potencian el rendimiento integral del deportista. En este sentido, el conocimiento del cuerpo no solo permite identificar las características físicas predominantes, sino que constituye una herramienta fundamental para orientar y optimizar el rendimiento deportivo.

Ross (1998) define la antropometría como “el estudio del tamaño, la forma, la proporcionalidad, la composición, la maduración biológica y la función corporal, con el

objetivo de comprender el proceso de crecimiento, el ejercicio y el rendimiento deportivo”. Desde esta perspectiva, la antropometría no se limita únicamente a la obtención de mediciones, sino que busca interpretar los datos corporales individuales para comprender el somatotipo, ajustar el entrenamiento, orientar la nutrición y optimizar el desempeño de manera personalizada. La evaluación antropométrica, al integrar aspectos cuantitativos y cualitativos, permite analizar las dimensiones y proporciones corporales y su relación con el ejercicio, la nutrición y el movimiento. Por tanto, al estudiar el desempeño deportivo y su relación con distintos biomarcadores, resulta fundamental considerar este tipo de metodologías.

La relación entre somatotipo y estado nutricional resulta especialmente relevante, dado que la alimentación influye directamente en la expresión morfológica del individuo y, a su vez, el tipo corporal condiciona los requerimientos nutricionales. Desde esta perspectiva, la evaluación del somatotipo permite comprender cómo la composición corporal puede incidir en variables metabólicas y de salud, así como en la respuesta al ejercicio físico. En consecuencia, la personalización de la alimentación y del entrenamiento en función de las características morfológicas individuales contribuye a la optimización del rendimiento físico y al mantenimiento de la salud metabólica.

La antropometría, como disciplina científica, se encuentra estrechamente relacionada con áreas como la educación física, la fisiología, la ergonomía, la medicina y la nutrición. Su enfoque integra el análisis cuantitativo de la forma y las dimensiones corporales con la interpretación cualitativa de los procesos de crecimiento, adaptación y movimiento, permitiendo comprender la relación entre la estructura corporal y la función biológica. En este contexto, los estudios antropométricos han aportado información relevante en las ciencias aplicadas al deporte, al establecer patrones de estructura corporal asociados a diferentes disciplinas deportivas, los cuales pueden utilizarse como referencias morfológicas en la identificación y orientación de deportistas.

La utilización de herramientas como el somatotipo, la composición corporal y el análisis de la proporcionalidad permite evaluar la eficiencia física y orientar la planificación

del entrenamiento. El somatotipo, definido como la caracterización de la forma y composición corporal actual del individuo mediante una calificación de tres componentes, facilita la cuantificación estandarizada de la morfología corporal y la comparación entre individuos o grupos de deportistas. En relación con la representación gráfica del somatotipo, la somato carta constituye una herramienta fundamental para visualizar la distribución de los componentes endomorfos, mesomorfos y ectomorfos en un plano bidimensional. En este tipo de representación, cada individuo se ubica en función de la combinación de sus tres componentes, lo que permite identificar tendencias morfológicas predominantes y comparar perfiles corporales entre sujetos o grupos. la cual facilita la interpretación visual de los diferentes tipos corporales y su relación con el rendimiento deportivo.

La comprensión de los procesos bioquímicos involucrados en el ejercicio debe complementarse con el análisis de las características antropométricas y de la composición corporal de los individuos físicamente activos. La composición corporal representa la proporción relativa de los distintos compartimentos del organismo, como la masa grasa, la masa muscular, la masa ósea y otros tejidos, y constituye un parámetro clave para interpretar la respuesta metabólica al esfuerzo físico (Kerr, 1988). La integración de esta información con el análisis del somatotipo permite una comprensión más completa de la relación entre la estructura corporal y el metabolismo energético durante el ejercicio. La caracterización de la composición corporal resulta especialmente útil cuando se relaciona con variables ergoespirométricas, dado que la masa muscular activa desempeña un papel determinante en el consumo de oxígeno y en la producción de energía. En este sentido, la antropometría se consolida como una herramienta complementaria a la fisiología del ejercicio, al permitir interpretar el rendimiento aeróbico y la eficiencia metabólica en función de las características morfológicas del individuo.

En el ámbito investigativo, el análisis conjunto de variables antropométricas, fisiológicas y bioquímicas ha permitido evidenciar que la integración de datos morfológicos y funcionales contribuye al desarrollo de recomendaciones de entrenamiento más personalizadas y efectivas. Esta aproximación resulta particularmente relevante en

poblaciones jóvenes físicamente activas, ya que facilita la construcción de perfiles de referencia, la detección temprana de alteraciones en la composición corporal y la identificación de posibles factores de riesgo metabólico. Asimismo, permite relacionar la capacidad aeróbica con la calidad de la masa muscular implicada en el esfuerzo físico y con el estado metabólico general del individuo, aportando elementos clave para la prevención de lesiones y la promoción de la salud.

5.2 Marco teórico disciplinar didáctico

5.2.1 Aprendizaje basado en la indagación/Inquiry-Based Learning (IBL)

El Inquiry-Based Learning (IBL) se implementa en este proyecto de grado de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) como una metodología que se deriva del modelo constructivista que ubica al estudiante como protagonista del aprendizaje, fomentando la construcción del conocimiento a partir de la formulación de preguntas, la indagación y la resolución de problemas. Según Serafín, Dostál y Havelka (2015), este enfoque metodológico permite a los estudiantes desarrollar competencias críticas y reflexivas al momento de enfrentarse a fenómenos reales y buscar soluciones y respuestas sustentadas en la ciencia, esto resulta conveniente para la enseñanza de conceptos abstractos como el metabolismo energético en el contexto de la bioquímica del ejercicio. La aplicación del IBL en este proyecto es esencial, ya que la implementación de biomarcadores, composición corporal y condición cardiorrespiratoria, estructurados como estudios de caso, se habilita como un escenario pedagógico ideal para que los estudiantes comprendan cómo los procesos bioquímicos se relacionan interdisciplinariamente de forma directa con la salud y hábitos de vida.

En la investigación de Pedaste et al. (2015) se adelantó un análisis integral de teorías sobre el IBL y se concluyó que este puede describirse en términos de cinco fases, las cuales se definen en la Tabla 4. Estas etapas permiten que los estudiantes investiguen, cuestionen y generen conocimiento científico a partir del pensamiento crítico. Este proceso secuencial es conducente para promover habilidades de investigación porque se basa en la

hipótesis, la colecta y el análisis de datos y la interpretación y presentación de resultados. Por su parte Serafín, Dostál y Havelka (2015) soportan estas afirmaciones al señalar que el IBL “se centra en el desarrollo de habilidades de pensamiento creativo, resolución de problemas y competencias superiores en el contexto constructivista”, de esto es posible resaltar que el IBL se constituye en un enfoque didáctico idóneo para facilitar los procesos de aprendizaje en la educación en ciencias aplicables a la vida cotidiana.

Tabla 4

Fases del aprendizaje basado en la indagación

Fases Generales	Definición de las Fases	Fases Generales	Definición de las Fases
Orientación	El proceso de estimular la curiosidad sobre una temática y abordar un reto de aprendizaje a través de un enunciado o problema		
Conceptualización	El proceso de plantear preguntas y/o hipótesis basadas en la teoría	Cuestionar	El proceso de generar preguntas de investigación basadas en el problema planteado.
		Generación de hipótesis	El proceso de generar hipótesis respecto al problema planteado.

Investigación	El proceso de planificar la exploración o experimentación, recolectando y analizando información basándose en el diseño experimental o de exploración.	Exploración	El proceso de generación sistemática y planificada de datos a partir de la pregunta de investigación.
		Experimentación	El proceso de diseñar y conducir un experimento para probar una hipótesis.
		Interpretación de datos	El proceso de generar significado a partir de la información recolectada y sintetizar nuevo conocimiento.
Conclusión	El proceso de extraer conclusiones desde la información. Comparar inferencias basadas en información con las hipótesis o preguntas de investigación.		
Discusión	El proceso de presentar hallazgos de fases particulares o el ciclo de indagación completo a	Comunicación	El proceso de presentar resultados de una fase o el ciclo completo de indagación con otros (pares, profesores) y

través de comunicar con otros y/o controlar el proceso de aprendizaje completo o sus fases a través de participar en actividades reflexivas.		recopilar retroalimentación de ellos. Discutir con otros.
	Reflexión	El proceso de describir, criticar, evaluar y discutir el ciclo de indagación completo o una fase específica. Discusión interna.

Nota. Elaboración propia adaptado de: Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions

El enfoque IBL se constituye entonces en una alternativa ampliamente validada en contextos universitarios por su potencial integrador entre investigación y procesos educativos. Al respecto, Mieg (2019) sostiene que el IBL en educación superior propicia la construcción activa del conocimiento mediante la investigación auténtica y la resolución de problemas reales (p.22), esto ejemplifica una relación directa entre el saber disciplinar y la práctica científica. En el contexto de esta investigación, dichas características hacen del IBL una metodología adecuada para vincular el metabolismo energético analizado directamente de estudios de caso con el análisis reflexivo, fortaleciendo tanto la comprensión de conceptos abstractos del metabolismo energético como las competencias investigativas.

Retomando a Lucumí (2015), la enseñanza de la bioquímica tradicionalmente tiende a centrarse en la memorización de conceptos, lo que genera una brecha entre conocimiento teórico y su aplicación en la vida cotidiana, así como también resalta la distancia existente entre la investigación moderna en bioquímica con lo que se aborda en el aula de clases. Frente a estas problemática y demás propuestas por este autor el IBL ofrece una alternativa

confiable ya que su estructura basada en la indagación favorece procesos que relacionan el conocimiento científico con los procesos investigativos contextualizados. Como sostiene Mieg (2019), esta metodología transforma el aula en un espacio de exploración donde los errores, la curiosidad y la evidencia científica se integran durante los procesos de aprendizaje. Por tanto, implementar este enfoque en el diseño de actividades en una cartilla promete fomentar un ambiente de aprendizaje ágil, reflexivo y aplicado a la vida real en donde se superen algunos de los retos en la enseñanza de la bioquímica del ejercicio.

5.2.2. Competencias Investigativas

Las competencias investigativas son el conjunto de habilidades y capacidades que son desarrolladas para llevar a cabo investigaciones de forma efectiva y satisfactoria, estas competencias involucran la habilidad de formular preguntas de investigación relevantes, recolectar y analizar información, aplicar apropiadamente métodos y técnicas, interpretar resultados, comunicar claramente los hallazgos, y tomar decisiones basadas en la evidencia obtenida (Tapullima-Mori et al., 2025).

Las actividades a desarrollar se centran en la promoción de las competencias investigativas que se ven fortalecidas al trabajar con un enfoque IBL, tal y como lo destaca Mieg (2019) en el libro *Inquiry-Based Learning – Undergraduate Research: The German Multidisciplinary Experience*. Springer. (pág. 61). Dichas competencias investigativas son identificadas por los autores no como una lista cerrada, sino como un sistema integrado que comprende varias dimensiones. Tras un análisis de las propuestas de estos autores proponemos que las competencias investigativas más comúnmente trabajadas por las diferentes dimensiones son:

- La capacidad de formular preguntas de investigación y elaborar hipótesis.
- La capacidad para organizar y llevar a cabo un proceso de investigación: seleccionar los métodos, recoger datos y analizarlos para dar a conocer los resultados.
- La capacidad de usar datos empíricos y analizar e interpretar resultados en función de la pregunta de investigación.

- La capacidad de integrar los resultados obtenidos y establecer conclusiones fundamentadas.
- La autonomía en el aprendizaje: alumnos responsables de organizar su propio tiempo, recursos y obligaciones en la indagación.
- El pensamiento analítico y reflexivo: alumnos que analizan el trabajo que ellos mismos y sus compañeros realizan, el procedimiento que llevan a cabo en indagación y aprendizaje.
- La capacidad para analizar críticamente el proceso propio de aprendizaje con el fin de mejorar el desempeño investigativo (reflexión metacognitiva)
- El trabajo en grupo y la colaboración: participar en proyectos de investigación, asumir responsabilidades individuales, coordinar actividades y comunicarse de manera productiva.
- La comunicación científica: dar a conocer los resultados de la investigación, realizar informes, presentar hallazgos y construir conocimiento que pueda resultar útil para otros.

Es importante resaltar también que, si bien el IBL contempla este conjunto de competencias, los autores quienes proponen estas competencias investigativas, resaltan que estas varían en función del área de aprendizaje en donde se trabajen por lo que no es posible desarrollar todas en único curso (p 67). Por lo anterior, para el presente trabajo solo se trabajaran con las competencias que produzcan evidencias observables y evaluables, que sean coherentes a desarrollarse en el tiempo de intervención que se plantea en el cronograma y cuya evaluación refleje lo que el estudiante aprende y hace y no rasgos personales de los mismos, para esto nos sustentamos en el principio de alineación constructivista propuesto por Biggs (1996) quien sostiene que el tipo de actividades de enseñanza/aprendizaje que se deben considerar son aquellas que alineándose a los objetivos curriculares nos permiten obtener desempeños de alto nivel cognitivo que al evaluarlos nos informan sumativamente el desempeño de los estudiantes. De esta manera, el total de competencias a abordar en el desarrollo de este proyecto se limitan a:

- La capacidad de formular preguntas de investigación y elaborar hipótesis (desde ahora formulación de hipótesis).
- La capacidad de usar datos empíricos, analizar e interpretar de resultados en función de la pregunta de investigación (desde ahora análisis e interpretación de datos empíricos).
- La comunicación científica: dar a conocer los resultados de la investigación, realizar informes, presentar hallazgos y construir conocimiento que pueda resultar útil para otros (desde ahora comunicación científica)

Con la intención de promover estas competencias la construcción de material didáctico se convierte en un producto tangible de este proceso de investigación y aprendizaje. Dicho material servirá como recursos permanentes para futuros docentes, que quieran enriquecer la enseñanza de la bioquímica del ejercicio. Además, estos recursos permitirán que los docentes y estudiantes visualicen de manera clara y organizada la relación entre biomarcadores, metabolismo energético y fisiología, facilitando la apropiación del conocimiento y el desarrollo de las competencias investigativas.

Se busca que los docentes y estudiantes no solo aprendan sobre el metabolismo energético y la fisiología del ejercicio, sino que se conviertan en actores activos de su aprendizaje, capaces de generar, analizar y comunicar información científica. Esto justifica que el marco metodológico tenga en cuenta el diseño basado en el IBL, estudio de caso y la elaboración de material didáctico, asegurando que los resultados de esta investigación se puedan traducir en herramientas útiles y duraderas para la enseñanza y la promoción de la salud.

5.2.3. Estudios de caso

Es importante integrar las variables mencionadas en el apartado del marco teórico disciplinar para tener una visión bastante amplia acerca del desempeño deportivo desde el punto de vista de la bioquímica del ejercicio, por lo que para organizar y presentar los datos obtenidos se adoptará una metodología de investigación de estudio de caso, ya que el

estudio de caso es una investigación empírica que examina un fenómeno actual en su contexto real (Yin, 2018) y al mismo tiempo se trata de “una estrategia para comprender la particularidad y complejidad de un caso singular” (Stake, 1995). Esta metodología es idónea para ilustrar la predominancia de ciertas rutas metabólicas en distintos deportistas de alto rendimiento. Los análisis derivados de un estudio de caso tienen un vasto potencial para convertirse en el insumo principal de un recurso didáctico flexible y de alto impacto que relacione la bioquímica del ejercicio con biomarcadores, morfología y hábitos de vida saludables, ya que permite a los estudiantes comprender que lo que ocurre en un entrenamiento físico no es una actividad aislada, sino que comprende unas bases bioquímicas y fisiológicas específicas. Los estudios de caso específicamente dirigidos al estudio de las relaciones entre biomarcadores, somatotipos y metabolismo energético se convierten en una manera accesible de llevar la ciencia a la práctica. Desde la perspectiva del estudio de caso instrumental de Robert E. Stake (2005), esta metodología de investigación permite entender fenómenos generales a partir de situaciones representativas. Este proyecto usa los casos como “vehículos” pedagógicos para relacionar los biomarcadores de composición corporal y condición cardiorrespiratoria con el metabolismo energético que lo sustenta. Esta estrategia posibilita que el docente cuente con ejemplos claros y contextualizados que faciliten la explicación de conceptos bioquímicos complejos.

Situar el aprendizaje desde estudios de caso se presenta como una estrategia pertinente para la enseñanza de la bioquímica con sus retos actuales, ya que se constituye es una herramienta de aprendizaje activo que se diferencia de la predominancia de enfoques educativos centrados en la memorización. Como señalan Kulak y Newton (2014) “La mayoría de los estudiantes de bioquímica adoptan enfoques superficiales (...) Incorporar aprendizaje basado en casos puede hacer más fácil el aprendizaje profundo al aumentar la implicación y motivación del estudiante”. En esta misma línea, Joshi et al. (2017) concluyen que “El aprendizaje basado en casos puede usarse como método innovador de enseñanza para una mayor retención del conocimiento y mejor aplicación de la bioquímica” (pág 62). A partir de ambas evidencias podemos inferir que los estudiantes no solo se ven motivados a aprender cuando se usan estudios de caso, sino que promueven un aprendizaje

más profundo al conectar conceptos bioquímicos a contextos reales, lo que es especialmente pertinente en una cartilla didáctica orientada al desarrollo de competencias investigativas desde el contexto de la bioquímica del ejercicio.

En este sentido, la implementación de estudios de caso dentro de la cartilla didáctica no solo responde a una necesidad metodológica, sino que también configura un escenario de aprendizaje en que los estudiantes asumen un rol activo en la construcción del conocimiento. A través del análisis de situaciones contextualizadas, los estudiantes tienen la posibilidad de formular preguntas, interpretar datos empíricos, establecer relaciones entre variables fisiológicas y bioquímicas, y proponer explicaciones fundamentadas, lo cual se articula directamente con el desarrollo de competencias investigativas. Asimismo, los estudios de caso permiten integrar diferentes niveles de análisis, desde lo molecular hasta lo sistémico, según Joshi et al. (2017) Esta integración resulta clave en la enseñanza de la bioquímica del ejercicio, ya que facilita la conexión entre conceptos abstractos, como las rutas metabólicas, y manifestaciones observables en el rendimiento físico, los biomarcadores y la composición corporal. De esta manera, se promueve una interpretación más significativa del conocimiento científico, en la que los estudiantes logran reconocer la aplicabilidad de la bioquímica en contextos reales.

Adicionalmente, el uso de estudios de caso posibilita la incorporación de datos reales o simultáneos obtenidos a través de herramientas como la ergoespirometría y la antropometría, lo que enriquece el proceso de enseñanza-aprendizaje al acercar a los estudiantes a prácticas propias del quehacer científico. Este tipo de aproximación favorece el desarrollo de habilidades como el análisis crítico, la toma de decisiones basada en evidencia y la argumentación científica, elementos fundamentales en la formación de futuros docentes con un perfil investigativo. Finalmente, la estructuración de los contenidos en torno a estudios de caso dentro de la cartilla didáctica permite organizar el conocimiento de manera progresiva y contextualizada, facilitando la articulación entre teoría y práctica. Esto no solo contribuye a una mejor comprensión del metabolismo energético, sino que también fortalece la capacidad de los estudiantes para transferir lo aprendido a nuevas situaciones, consolidando así un aprendizaje significativo y duradero.

5.2.4. Material didáctico

El material didáctico se entiende como un conjunto de recursos elaborados con un propósito pedagógico específico, cuyo objetivo es facilitar procesos de enseñanza y aprendizaje mediante la organización, representación y aplicación de los contenidos. Según Díaz Barriga y Hernández (2010), el material didáctico actúa como un mediador entre el conocimiento y el estudiante, ya que no solo transmite información, sino que orienta la manera en que esta se comprende, se analiza y se aplica. En este sentido, el material didáctico no está limitado a ser solo un soporte físico, como un libro o una cartilla, sino que se estructura como una herramienta que genera condiciones para que el estudiante interactúe con el conocimiento de una manera activa y a la vez significativa.

Para Manrique A. et al. (2013), es fundamental para el proceso de aprendizaje de las personas el apoyo del material didáctico como herramienta de aprendizaje y desaprendizaje, por tal motivo, se ha desarrollado una variedad de recursos, estrategias y métodos que ayudan al sujeto con su formación educativa. Las instituciones permiten esta clase de material para que el docente tenga una fuente de apoyo que propicie una enseñanza dinámica y eficaz, permitiendo que los estudiantes articulen sus conocimientos con la práctica al momento de interactuar de una manera más lúdica con los saberes requeridos para su formación. Al respecto, Rousseau et al (2004) comentan que dichos materiales no se limitan solo al apoyo en la labor docente, sino que ayudan a significar los planes de actividades diseñados especialmente para la enseñanza de un tópico al organizar elementos psicopedagógicos que potencian el aprendizaje de los estudiantes.

El material didáctico puede utilizar una diversidad de apoyos que contribuyen a mejorar la comprensión, tales como ejemplificaciones, secuencias de actividades, ejercicios, aplicaciones de contenido, sinopsis, simulaciones, etc., que permiten al estudiante empaparse de conocimiento y relacionarlo con su vida cotidiana. En este proceso se generan puentes cognitivos al reflexionar sobre el valor funcional de los conocimientos contruidos con los que se poseían con anterioridad.

Según Ausubel, citado por Rousseau et al. (2004 p 37) Este material es apto para el aprendizaje al momento de ayudar al estudiante con la comprensión de los contenidos, en

este proceso de aprendizaje la construcción y adquisición de conocimientos y habilidades se alcanza cuando el alumno relaciona lo que ya sabe con las vivencias previas con las que cuenta, resignificando las con los nuevos conceptos, hechos, interrogantes, inferencias e ideas propias que genera al interactuar con el material, logrando así lo que denomina un aprendizaje significativo.

En el contexto de esta investigación, la construcción de una cartilla didáctica responde a la necesidad de contar con un recurso práctico y accesible que organice contenidos, estrategias y actividades relacionadas con los biomarcadores del ejercicio y el metabolismo energético, ofreciendo a los docentes de ciencia una guía clara para fomentar procesos de aprendizaje, particularmente bajo la metodología IBL. Esta cartilla asume un rol ya que no se limita a exponer la teoría, sino que también integra estudios de caso, guías de exploración, formatos de registro y preguntas orientadoras que invitan al estudiante a investigar, reflexionar y relacionar la ciencia con sus hábitos de vida. Por lo tanto, el material diseñado no solo fortalece el aprendizaje activo, sino que también contribuye a la apropiación de hábitos saludables y al desarrollo de pensamiento crítico en los estudiantes.

5.2.5. Cartilla Didáctica

Se define como un material educativo con un fin pedagógico determinado, que contribuye a los procesos de enseñanza aprendizaje caracterizada por su presentación dinámica y estimulante, la cual facilita la organización sistemática del contenido y propicia la reflexión. Según Torres (2018) la cartilla es un material educativo que tiene un propósito temático específico y único y se caracteriza por ser un recurso de tipo práctico, cuyo sentido es “pedagógico en su totalidad” y eso la separa de otra clase de materiales como lo pueden ser libros de texto, manuales o guías. Esta diferencia no se sustenta solamente en su formato, sino también en la finalidad didáctica que guía el diseño, la estructura y el uso dentro de un proceso formativo.

También en esta misma línea, la Guía Cartilla Didáctica de la Universidad Popular del Cesar (Castro N. E. 2020) evidencia que se trata de una herramienta muy eficaz para la “generación de contenidos propios, la sistematización de prácticas y su traducción en

propuestas comunicacionales idóneas para formar y promover la reflexión”. En ese sentido, una cartilla no se limita a transmitir información, sino que esclarece y clarifica la misma, se posiciona entre el lector y la propia enseñanza para llamar su atención y articular procesos de comprensión dinámica. A diferencia de otros productos que, si bien tienen una función pedagógica, su intención principal es informar o provocar un impacto rápido, la cartilla tiene como propósito formar y promover la reflexión, es decir, se constituye en una herramienta que acompaña procesos pedagógicos más amplios (Torres O. J. 2018).

Torres O. J. (2018) resalta que la cartilla tiene características estructurales y comunicativas específicas que la hacen única como recurso didáctico en comparación a otros. Por lo demás, es un producto menos denso que un manual y más pedagógico que una guía, con un razonamiento próximo al de la producción editorial en el que el diseño visual, la agrupación secuencial del contenido y la implantación de elementos visuales son fundamentales para hacer sentido pedagógico. En este sentido, la cartilla supone una mirada más extensa en cuanto a su tratamiento, y no se pretende agotar los temas abordados, sino “poner cuestiones arriba de la mesa en vez de aclarar respuestas”, para transformarse en una estimulante invitación intelectual a indagar y a reflexionar.

La cartilla se piensa desde una perspectiva pedagógica como un material que tiene como punto de partida la realidad de las personas, pero que no se limita a hacer una reproducción de ésta; al contrario, busca problematizarla y desnaturalizarla, logrando con ello fomentar procesos de reflexión de orden crecientemente más profundo y colectivo (Torres O. J. 2018). En tal sentido, la cartilla integra el lenguaje, las imágenes, los ejemplos y las secuencias didácticas en forma intencionada, que pretenden generar condiciones para el pensamiento analítico y crítico, sin hacer sentir inferior al lector ni simplificar demasiado el contenido. De esta forma, la cartilla didáctica se afirma como un recurso pedagógico que, más allá de su formato, se caracteriza por su potencial para mediar en procesos de aprendizaje y para promover la apropiación activa del conocimiento, por lo mismo es que se escoge este formato para el diseño del material didáctico a elaborar durante el desarrollo de este proyecto.

6. Marco Metodológico

Esta investigación se enmarca en un estudio de índole mixta, de tipo CUALITATIVA-cuantitativa, cuyo objetivo fundamental reside en contribuir y evidenciar el desarrollo de competencias investigativas en estudiantes universitarios, particularmente en licenciados, todo esto alineado y haciendo uso del enfoque metodológico propuesto por diferentes autores en el aprendizaje basado en la indagación (IBL). Dicho enfoque didáctico, ampliamente empleado en la enseñanza científica, permite analizar cómo es que los estudiantes construyen saberes científicos a través de dinámicas activas de enseñanza-aprendizaje. Específicamente, en el marco de esta iniciativa investigativa, el objetivo se centra en el desarrollo de competencias investigativas tales como la formulación de hipótesis, el análisis e interpretación de datos empíricos y la comunicación científica en términos de argumentación.

Desde una perspectiva metodológica, el esquema de la intervención se cimentó en lo expuesto por Pedaste et al. (2015), quienes conciben el proceso del IBL a través de una estructura compuesta por cinco etapas: la orientación, la conceptualización, la investigación, la conclusión y la discusión, las anteriores etapas abordadas a modo de ciclo o proceso lineal según convenga. En congruencia con este esquema, se concibió aplicar este proceso del IBL forma exhaustiva, cada etapa compuesta de las diferentes temáticas enunciadas a lo largo del marco teórico que sustenta este proyecto, abordadas en torno a las dinámicas del metabolismo energético en el ser humano. Se plantea implementar un ciclo de IBL contextualizado en el estudio del metabolismo energético humano, integrando las temáticas desarrolladas en el marco teórico con actividades orientadas al fortalecimiento de las competencias investigativas. De esta manera, la metodología permitirá observar y analizar la progresión de los estudiantes a lo largo de las diferentes fases del proceso.

La implementación se plantea considerando las características del grupo participante, conformado mayoritariamente por estudiantes que no pertenecen a programas de ciencias naturales y que presentan diferentes niveles de formación previa en este campo. Por esta razón, la fase de orientación se plantea como un espacio inicial de contextualización y aproximación a los conceptos y procedimientos necesarios para el desarrollo posterior de la indagación. En esta fase se abordarán contenidos relacionados con

las macromoléculas, la antropometría y los biomarcadores asociados a pruebas ergoespirométricas, estableciendo relaciones con el metabolismo energético humano. Asimismo, se incorporarán actividades orientadas a la formulación de hipótesis como componente fundamental del proceso de indagación científica.

La fase de conceptualización estará orientada a profundizar en los contenidos introducidos durante la orientación, particularmente en el papel de las macromoléculas como sustratos energéticos del organismo. Para apoyar este proceso se empleará la cartilla didáctica diseñada para la investigación, en la cual se integrarán estudios de caso que permitan relacionar los conceptos científicos con situaciones contextualizadas. De manera complementaria, se abordarán contenidos relacionados con la clasificación somatotípica y la ergoespirometría, promoviendo su interpretación y relación con los demás conceptos trabajados. Esta fase proporcionará los fundamentos conceptuales necesarios para que los estudiantes puedan formular hipótesis con mayor grado de estructuración y establecer relaciones entre variables vinculadas con el rendimiento físico, las fuentes de energía, los somatotipos y el metabolismo energético.

Posteriormente, la fase de investigación estará orientada al desarrollo de actividades experimentales y a la obtención de información empírica que permita contrastar las hipótesis formuladas. Entre las actividades propuestas se contempla una práctica de laboratorio de calorimetría, en la cual los estudiantes seleccionarán alimentos asociados con las diferentes macromoléculas abordadas previamente y determinarán experimentalmente la energía liberada durante su combustión. Asimismo, se plantea desarrollar una valoración antropométrica con el acompañamiento de un profesional certificado por la ISAK, con el propósito de obtener datos correspondientes a la composición y características corporales de los participantes. Estas actividades permitirán disponer de información empírica para fortalecer el análisis e interpretación de datos y establecer relaciones entre los resultados obtenidos, las hipótesis formuladas y los fundamentos conceptuales trabajados durante las fases anteriores.

En la fase de conclusión se propone que los estudiantes organicen e interpreten los resultados obtenidos durante las actividades experimentales. Como producto de la práctica de calorimetría, se contempla la elaboración de un informe de laboratorio en el que se

evidencie el análisis de los datos empíricos y su relación con las hipótesis planteadas. De manera complementaria, los estudiantes construirán su perfil somático a partir de las mediciones antropométricas obtenidas. Estas actividades estarán orientadas a favorecer la contrastación entre las hipótesis iniciales y la evidencia obtenida, así como la elaboración de conclusiones fundamentadas. Además, se promoverá la búsqueda autónoma de información y el uso de la cartilla didáctica como recurso de apoyo para establecer relaciones entre los diferentes resultados y conceptos desarrollados durante la intervención.

Finalmente, la fase de discusión estará orientada al fortalecimiento de la comunicación científica. En esta etapa se propone que los estudiantes presenten los principales hallazgos derivados del proceso de indagación y establezcan relaciones entre los resultados obtenidos y los conocimientos construidos durante las diferentes fases de la implementación. Las actividades estarán dirigidas a favorecer la construcción y comunicación de argumentos sustentados en evidencia, así como la interpretación de los resultados en relación con las temáticas abordadas sobre metabolismo energético. De esta manera, la discusión permitirá integrar los aprendizajes conceptuales, experimentales y argumentativos desarrollados a lo largo del ciclo de IBL y favorecer su transferencia a situaciones contextualizadas mediante los estudios de caso incluidos en la cartilla didáctica.

7. Aspectos metodológicos del proceso de indagación implementado

Los resultados obtenidos durante la implementación del ciclo de indagación se organizaron de acuerdo con las fases propuestas por el modelo del IBL. Para cada una de las fases se adjuntan los registros fotográficos del proceso, así como también las evidencias que permitieron documentar el desarrollo de las actividades. Estas evidencias incluyen hipótesis formuladas por los estudiantes, informes de laboratorio y registros de presentaciones, entre otros. Para el análisis, se tuvieron en consideración todos los trabajos realizados por los estudiantes en las diferentes etapas del proceso.

El ciclo del IBL implementado se desarrolló trabajando en grupos de estudiantes, quienes participaron activamente en cada una de las actividades propuestas en las diferentes fases: orientación, conceptualización, investigación/indagación, conclusión y discusión.

Los resultados que se presentan a continuación describen los productos obtenidos y las características generales observadas en su elaboración.

El consentimiento informado, presentado como Anexo 1, cumplió una función ética dentro del desarrollo de la investigación, permitió también realizar una caracterización general de la población participante. A partir de la información obtenida por el consentimiento informado, se identificaron variables como edad, en donde los participantes registraron edades entre los 18 y los 34 años, género, contando con un grupo de 12 estudiantes en donde el 80% se constituye en hombres y el restante 20% en mujeres, programa académico y semestre cursado, lo cual evidenció la participación de un grupo heterogéneo en términos de formación académica, en su mayoría perteneciente a áreas no directamente relacionadas con las ciencias naturales y contando con un nivel de escolaridad en su mayoría de educación media.

Asimismo, el instrumento permitió reconocer la experiencia previa de los estudiantes en temáticas científicas, evidenciando que gran parte de la población no contaba con una formación sólida en contenidos asociados al metabolismo energético, esto es importante a tener en cuenta para interpretar los procesos de aprendizaje desarrollados durante la intervención. En relación con los aspectos éticos, se observó una alta aceptación en cuanto a la participación voluntaria en el estudio y la autorización para el tratamiento de datos personales, lo que indica una disposición favorable hacia el desarrollo del proyecto. Igualmente, la totalidad de los participantes reconoció el carácter voluntario de su participación y la posibilidad de retirarse en cualquier momento, garantizando así el cumplimiento de los principios de autonomía y consentimiento informado. En general, esta información permitió caracterizar a la población desde una perspectiva académica y ética, aportando elementos clave para la interpretación de los resultados obtenidos a lo largo de la implementación.

7.1. Caracterización inicial de los participantes

La mayoría de los estudiantes brindaron su aceptación en la participación en la investigación, así como también el manejo de sus informaciones personales. Las edades,

desde el punto de vista demográfico, delinearon un grupo heterogéneo donde prevalecieron los jóvenes cursando estudios universitarios. En lo referente al género, se advirtió un mayor número de participantes masculinos frente a una minoría femenina. En lo concerniente a la actividad laboral, la mayor parte se identificó como estudiantes, no obstante, algunos compaginan sus estudios con alguna ocupación o se hallan desempleados, lo cual apunta a una variedad en sus entornos socio académicos.

En cuanto al historial formativo, la escuela secundaria predominó como la base más común de los participantes, complementada por unas pocas instancias de formación técnica o tecnológica, reafirmando de este modo la noción de que el conjunto no poseía uniformemente un cimiento robusto en ciencias naturales. Se añade a esto que en su mayoría los participantes se encontraban inscritos predominantemente en licenciatura en educación física, aunque también hubo presencia de estudiantes de licenciatura en química y matemáticas, esto evidencia a un grupo mayoritariamente no especializado en áreas afines a la química. Por otra parte, los semestres cursados de los participantes variaban desde la formación inicial, hasta la avanzada (desde el cuarto hasta el séptimo semestre), lo que evidencia disparidades en el progreso dentro de la trayectoria universitaria. Finalmente, la mayoría de los implicados manifestaron no haber participado en formaciones anteriores conectadas con los tópicos tratados, circunstancia de suma importancia para ponderar la contribución al desarrollo de las competencias investigativas partiendo de un bagaje limitado en el área. En suma, esta caracterización retrata una población diversa con una preparación fundamentalmente no especializada en ciencias, lo que justifica la urgencia de una etapa de orientación y conceptualización robusta dentro del diseño metodológico, y aporta elementos centrales para el análisis de los resultados obtenidos.

7.2. Proceso evaluativo

Los resultados se estructuraron a partir de las actividades desarrolladas en cada una de las etapas del aprendizaje basado en indagación (IBL) enunciadas en el marco teórico y metodológico, así como en los productos realizados por los estudiantes durante el proceso de implementación, facilitando así la visualización secuencial de la evolución de sus competencias investigativas.

Para la valoración de estas competencias se concibió una rúbrica analítica (Tabla 5), elaborada a partir de referentes teóricos afianzados en el ámbito de la educación científica. En esta rúbrica se establecieron tres niveles de desempeño: insuficiente, satisfactorio y sobresaliente, permitiendo así definir el avance de los alumnos en el desarrollo de las tres competencias centrales adaptadas de Mieg (2019): la formulación de hipótesis, el análisis e interpretación de datos empíricos y la comunicación científica. El fundamento para el desarrollo de este instrumento se sustentó, entre otras perspectivas autorales, en las contribuciones de Mario Bunge (1967), figura clave que subraya la importancia de la formulación de hipótesis como pilar central en el pensamiento científico. Asimismo, se tomó en consideración las premisas de Millar R. y Kanari Z (2004), los cuales enfatizan la relevancia del razonamiento a partir de datos en la construcción del saber científico. A esto, se integran las perspectivas de Av-Shalom, N. Y., Zimmerman, R. M., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2019) y Hilario, J., & Martínez, K. (2020), expertos que puntualizan en la importancia de la argumentación y la comunicación científica de calidad dentro de la disciplina de la química.

Tabla 5

Rubrica de evaluación de competencias investigativas

Criterios de evaluación				Autores de relevancia
Competencia Investigativa	Nivel insuficiente	Nivel satisfactorio	Nivel sobresaliente	

Formulación de hipótesis	• No identifica claramente una relación causa efecto • No distingue variables • Formula afirmacion es vagas	• Formula hipótesis con estructura “si... entonces...” • Identifica al menos dos variables. • Formula explicaciones parciales o poco fundamentadas. • Formula hipótesis descriptivas	• Formula hipótesis claras, delimitadas y coherentes. • Establece explícitamente variables. • Formula hipótesis contrastables experimental mente. • Demuestra coherencia conceptual • Formula hipótesis explicativas	• Bunge, M. (1967). Scientific research: Strategy and philosophy. Springer.
--------------------------	---	---	--	---

Análisis e interpretación de datos empíricos	- Describe datos de forma literal (valores, tablas o gráficas) sin relacionarlos con la pregunta de investigación - No identifica patrones y tendencias relevantes - No deriva conclusiones de los datos	- Identifica algunos patrones o relaciones en los datos - Relaciona parcialmente los resultados con la pregunta de investigación - Las conclusiones se apoyan en algunos datos, pero de forma incompleta	- Selecciona, organiza y compara datos relevantes para la pregunta de investigación - Identifica tendencias, relaciones y posibles explicaciones - Formula conclusiones claramente sustentadas en los datos explícitamente conectadas con la pregunta de investigación	Kanari Z., & Millar R. (2004). Reasoning from data: how students collect and interpret data in scientific investigations. <i>International Journal of Science Education</i>, 26(9), 1099–1120.
---	--	--	--	--

Comunicación científica	• Explica desde observable o cotidiano, con escasa referencia teórica y sin articulación clara entre datos, modelos y conceptos. • No hace explícito su proceso de razonamiento ni controla la calidad de sus propias ideas.	• Relaciona parcialmente evidencias empíricas con algunos conceptos teóricos o representaciones, pero la integración no es completa o depende de instrucciones explícitas del docente. • Manifiesta en algunos momentos que piensa o porque lo piensa, muestra regulación metacognitiva básica.	• Integra de manera autónoma datos empíricos, conceptos teóricos, y representaciones (macroscópica y microscópica), construye explicaciones coherentes y justificadas. • Evidencia su razonamiento, evalúa la solidez de sus argumentos y reconoce alcances y limitaciones de sus explicaciones.	• Hilario J., & Martínez K. (2020). Implementación de habilidades de argumentación y modelaje en las clases de química del bachillerato. Educación Química, 31(2), 51. https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.2.69287 • Av-Shalom N. Y., Zimmerman R. M., Chinn C., & Duncan R. (2019). Analysis of different categories of epistemic and metacognitive
-------------------------	---	--	---	---

discourse in
argumentation
. Studia
Paedagogica,
24(4), 101.
[https://doi.org/
10.5817/sp201
9-4-5](https://doi.org/10.5817/sp2019-4-5)

Nota. Elaboración propia basada en diferentes autores

Con respecto a la valoración de las competencias científicas, este proceso no se limitó a una calificación puntual, sino que se desarrolló de manera continua y escalonada a lo largo de la implementación, incorporando dinámicas constantes de retroalimentación. Con lo cual se posibilitó que los estudiantes optimizaran su desempeño con el avance de las fases del IBL. En este orden de ideas, la competencia de formulación de hipótesis fue evaluada en tres momentos diferenciados. En cada uno de estos momentos, los educandos, ajustaron y refinaron sus proposiciones, sirviendo la crítica constructiva como catalizador de sus procesos. Por su parte, la competencia de análisis e interpretación de datos empíricos se evaluó en dos momentos relacionados fundamentalmente con las prácticas experimentales llevadas a cabo, mientras que la competencia de comunicación científica fue valorada en tres momentos, vinculados a la elaboración de informes y a la socialización de resultados.

Abordando desde la perspectiva cualitativa, el análisis se enfocó en interpretar las producciones de los estudiantes (hipótesis, informes, argumentaciones y presentaciones), empleando los criterios de la rúbrica como instrumento de clasificación y facilitando el hallazgo de patrones de avance, dificultades recurrentes y transformaciones en las competencias investigativas evaluadas. Este modo de análisis se acerca a lo que expone Creswell J. (2018), quien señala que, en los estudios de índole mixta, la parte cualitativa facilita la comprensión detallada de los procesos de aprendizaje y la construcción de significado. Adicionalmente, en lo referente a los aspectos de análisis cuantitativo se

consideraron a modo de variables de análisis las puntuaciones de los diferentes grupos de estudiantes obtenidas mediante la evaluación de sus producciones teniendo en cuenta los criterios establecidos en la rúbrica de evaluación expuesta en la Tabla 5, se analizan por separado las puntuaciones en las tres competencias investigativas evaluadas: formulación de hipótesis, análisis e interpretación de datos empíricos y comunicación científica, medidas a través de diferentes momentos de evaluación y retroalimentación. Utilizando el software de análisis estadístico IBM SPSS en función de los grados de rendimiento en la rúbrica y con un análisis de dos colas planteando las hipótesis de que la implementación de la propuesta didáctica basada en el IBL pudo ser o no efectiva en favorecer el desarrollo de las competencias, esto posibilita la observación de tendencias globales en el grupo y la comparación de los progresos entre las distintas etapas de evaluación. Complementando, se integraron estrategias propias del análisis de contenido. Esto permitió clasificar las respuestas de los estudiantes bajo criterios establecidos con antelación, así como utilizar la triangulación de datos, entendida como la integración de múltiples fuentes e información (escritos, notas de evaluación y observaciones del proceso) para robustecer las conclusiones. En su conjunto, esta vía metodológica hizo posible no solo describir el desempeño de los estudiantes, sino también comprender cómo se transformaron sus competencias investigativas a lo largo de la implementación.

7.3. Resultados y análisis por fases del ciclo IBL

Los resultados se presentan según las etapas del ciclo del Aprendizaje Basado en la Indagación (Inquiry-Based Learning, IBL), con la intención de examinar de forma progresiva la contribución al desarrollo de las competencias investigativas de los estudiantes durante la implementación apoyada en la cartilla didáctica. De acuerdo con el enfoque metodológico de tipo CUALITATIVO-cuantitativo de esta investigación, el análisis incorpora evidencias cualitativas de las producciones escritas, las observaciones de las sesiones y los criterios de la rúbrica de evaluación, lo que permite comprender tanto los cambios en las competencias investigativas como los procesos de su desarrollo. Según indican Creswell y Plano Clark (2018), la fortaleza de los estudios mixtos radica en interpretar los resultados mediante la integración de diferentes fuentes de información,

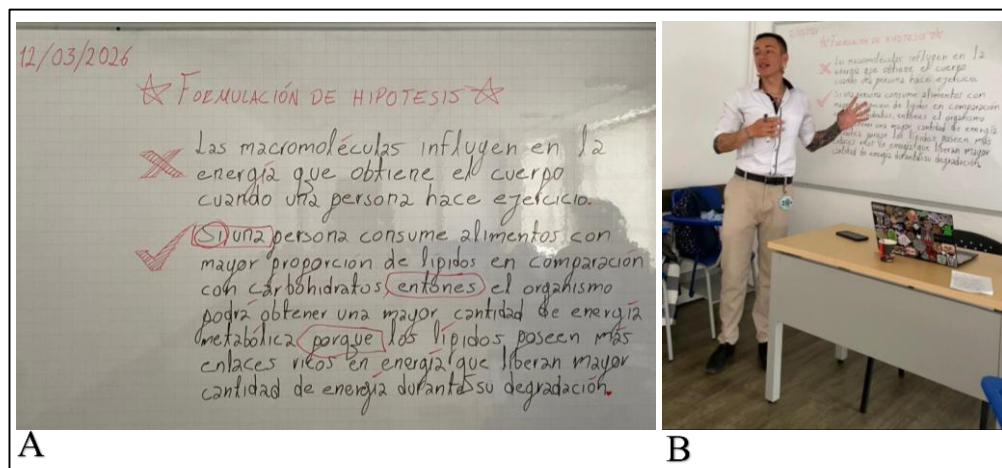
favoreciendo explicaciones más completas sobre el fenómeno investigado. En este caso se realiza un análisis cualitativo basado en las producciones realizadas por los estudiantes y se complementa con un análisis cuantitativo realizado en la aplicación IBM SPSS para el tratamiento estadístico de los datos.

7.4. Fase de Orientación

En la fase de orientación se buscó situar a los estudiantes sobre la problemática de estudio e impulsar el desarrollo inicial de la competencia investigativa relacionada con la formulación de hipótesis. Así, se hizo una lectura guiada del material introductorio de la cartilla sobre las macromoléculas y su participación en el metabolismo energético, para luego explicar las características que debe reunir una hipótesis científica, a través de ejemplos contruidos colectivamente en el tablero, tal como se puede observar en la Figura 5. A. Posteriormente, y a modo de producto de estas primeras sesiones, cada grupo desarrolló una hipótesis inicial que recogiera sus concepciones acerca de la obtención de energía durante la actividad física y que sirviera de punto de partida para el proceso de investigación desarrollado en las fases posteriores.

Figura 5

Sesión de orientación



Nota. Fotografías tomadas por los autores durante la implementación.

A. Uso del tablero para apoyar una explicación acerca de la correcta formulación de hipótesis.

B. Enseñanza de formulación de hipótesis primera sesión de implementación

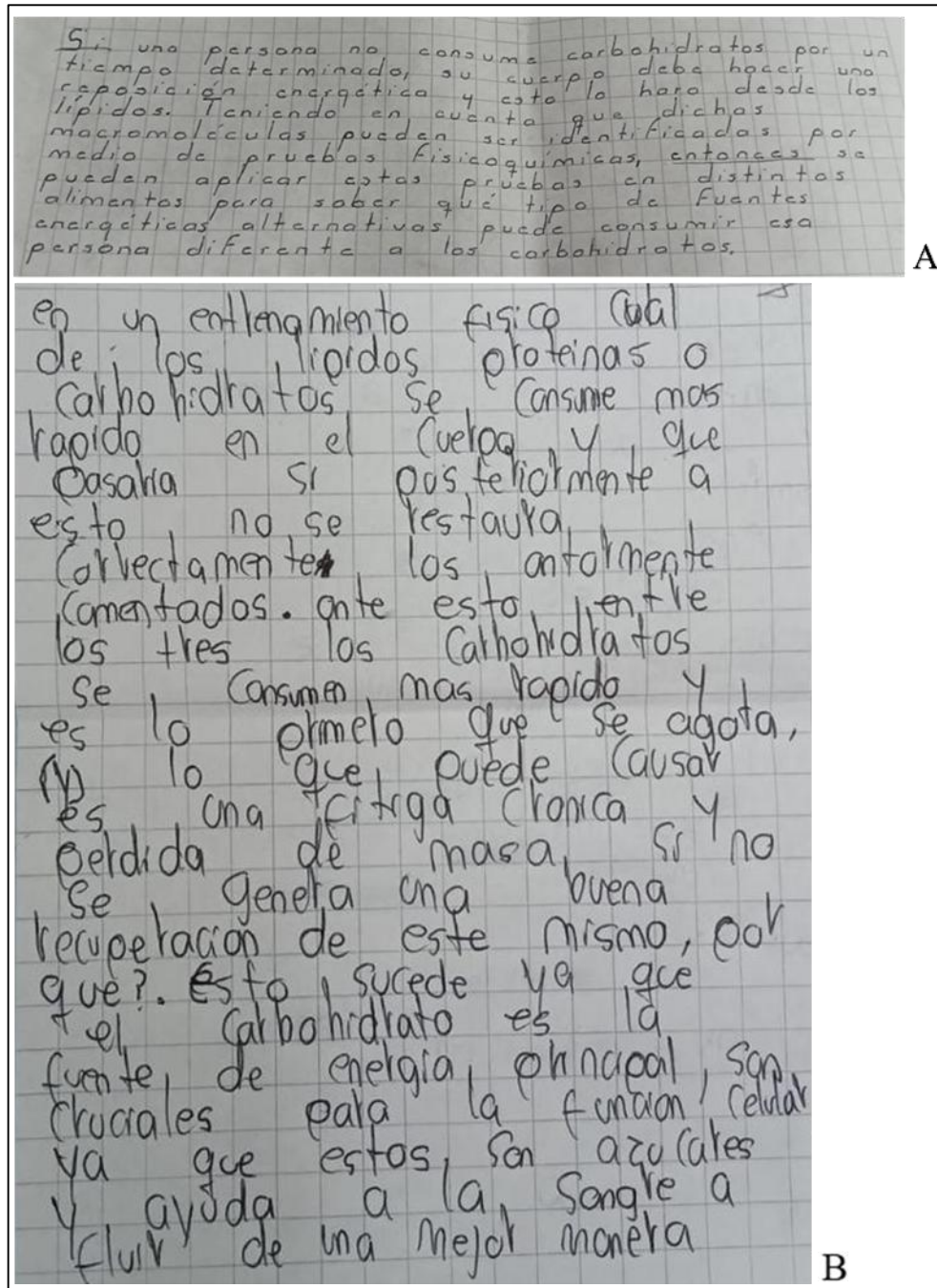
Durante esta fase, los estudiantes formularon hipótesis relacionadas con la función de las macromoléculas y su participación en el metabolismo energético. Estas producciones componen la primera aproximación de los alumnos al desarrollo de la competencia investigativa de formulación de hipótesis y fueron analizadas teniendo en cuenta los criterios establecidos en la rúbrica de evaluación. Los estudiantes dieron inicio al proceso con niveles heterogéneos de desarrollo de esta competencia investigativa. Si bien la mayoría pudo relacionar los conceptos trabajados durante las sesiones de orientación con situaciones asociadas al metabolismo energético, se encontraron dificultades para la estructuración de hipótesis científicas que cumplieran simultáneamente con los criterios de claridad, delimitación de variables y posibilidad de contrastación establecidos en la rúbrica de evaluación planteada.

En las entregas los estudiantes desarrollaron familiaridad con la formulación de relaciones causales. Por ejemplo, el Grupo 1 planteó que, “si una persona no consume carbohidratos durante un periodo determinado, su cuerpo debe hacer una reposición energética y esto lo hará desde los lípidos”. Esta hipótesis permite reconocer que los estudiantes relacionan efectivamente una condición como la ausencia de macromoléculas con una posible consecuencia metabólica. Esta hipótesis supera una mera descripción y se constituye en una suerte de explicación científica al recurrir a un elemento relevante del razonamiento científico según lo establece Lawson (2004), al señalar que las explicaciones científicas requieren establecer relaciones entre condiciones, mecanismos y consecuencias observables. Sin embargo, la posterior introducción de pruebas fisicoquímicas no se articula adecuadamente con la relación metabólica inicialmente propuesta. Esta dificultad puede interpretarse como un problema de delimitación del fenómeno de investigación y de control de la estructura lógica de la hipótesis. Chinn y Malhotra (2002) señalan que el razonamiento científico riguroso necesita coordinar diferentes componentes de una investigación, evitando que las afirmaciones, las evidencias y los procedimientos asociados parezcan desconectados entre sí.

En concordancia con lo planteado previamente, el Grupo 4 (Figura 6 B) planteó una posible relación entre la reducción de los carbohidratos y la aparición de fatiga durante el ejercicio físico, al presentar en su hipótesis el siguiente cuestionamiento; “¿En un entrenamiento físico cuál de los lípidos, proteínas o carbohidratos se consume más rápido...?” es posible notar que el grupo identifica variables relevantes y propone una explicación fisiológica, sin embargo, posteriormente la hipótesis combinó preguntas de investigación, afirmaciones teóricas y conclusiones anticipadas, dificultando la delimitación del fenómeno que realmente pretendía investigarse. Esta combinación es contradictoria a la formulación de una explicación hipotética-deductiva al no diferenciar la formulación de una explicación provisional de la obtención y evaluación de sus consecuencias (Lawson, 2004). Esta diferenciación es fundamental para el desarrollo del pensamiento científico necesario para llevar a cabo una investigación de manera adecuada, ya que una explicación no adquiere inherentemente el carácter de hipótesis científica al referirse a un fenómeno real, sino que debe establecer una relación específica entre variables y generar consecuencias que puedan ser examinadas (Bunge, 1967).

Figura 6

Ejemplo de productos evaluables de los estudiantes durante la primera fase



Nota. A & B. Diferentes hipótesis elaboradas por los estudiantes.

Otra producción en este caso del Grupo 2 evidencia un conocimiento conceptual inicial sobre las funciones biológicas de las diferentes macromoléculas trabajadas. Sin embargo, este conocimiento aparece desglosado a manera de descripción de funciones y no como una proposición susceptible de contrastación. Esta diferencia es relevante, ya que como lo resalta el National Research Council (2012) el hecho de conocer conceptos científicos no implica necesariamente poder utilizarlos para construir explicaciones o estructurar investigaciones. En este sentido la hipótesis presentada permitió observar que los participantes pueden recordar efectivamente la información disciplinar, pero tienen dificultades para movilizarla a una estructura explicativa que permita al mismo tiempo establecer predicciones como una hipótesis científica adecuada. Aunque la hipótesis presenta expresiones como “consumir de manera favorable” y “dieta afín al gasto energético” existe una ausencia de indicadores claramente definidos susceptibles de ser observados y en consecuencia contrastados empíricamente.

Por último, encontramos el caso particular del Grupo 3, que no produjo una hipótesis adecuada en los tiempos establecidos y decidió abstenerse de entregar una formulación susceptible de ser valorada con la rúbrica diseñada para el proyecto investigativo. Esta situación se interpreta como una evidencia inicial de que los estudiantes no se sentían en la capacidad de proponer una hipótesis según las condiciones de la actividad propuesta durante la sesión. Es importante resaltar que esta situación no se dio por ausencia de conocimientos disciplinares, sino más bien se atribuye a una dificultad para articular los contenidos recientemente abordados a manera de una proposición predictiva. Independientemente de las razones de los alumnos, esta situación se alinea con lo propuesto por Pedaste et al. (2015) para la fase de orientación del IBL, ya que esta permite precisamente identificar los conocimientos y formas iniciales de razonamiento desde los cuales se trabajará posteriormente en la indagación.

Durante esta primera etapa se realizó un oportuno primer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis, dicha evaluación se sometió a un análisis estadístico descriptivo (Figura 7) arrojando resultados que muestran un desempeño en función de la rúbrica de evaluación distribuido de forma heterogénea. La puntuación media de 0.808 (DE = 0.748; N = 12), con valores comprendidos entre 0 y 1.7 puntos, indica que

el cómputo global de los grupos de estudiantes se encuentra en un nivel insuficiente y con una alta variabilidad en el desarrollo de la competencia investigativa en este primer momento de evaluación. La dispersión observada sugiere que algunos estudiantes lograban incorporar parcialmente elementos propios de una hipótesis científica, mientras que otros aún presentaban dificultades para establecer relaciones causales, delimitar variables o plantear explicaciones susceptibles de contrastación empírica. De manera consistente con el análisis de las producciones escritas, la ausencia de puntuaciones elevadas y la presencia de valores mínimos de cero permiten inferir que la formulación de hipótesis constituía una competencia en proceso de desarrollo, algo esperable dentro de las primeras etapas de una estrategia basada en la indagación.

Figura 7

Análisis estadístico descriptivo SPSS para el primer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
Hipotesis primer momento	12	,0	1,7	,808	,7477
N válido (por lista)	12				

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Al comparar estos resultados con los parámetros establecidos en la rúbrica de evaluación, podemos observar que la mayoría de las producciones se sitúan entre el nivel insuficiente y el satisfactorio. Aunque algunos grupos pudieron identificar relaciones de causa-efecto o mencionar variables relacionadas con el metabolismo energético, aún eran frecuentes los conceptos poco delimitados, la ausencia de variables operacionalizadas y las explicaciones generales, lo cual dificultaba la comprobación de las hipótesis planteadas. A juicio de Ennis (2011), son problemas propios al primer estadio del pensamiento crítico donde los estudiantes comienzan a construir argumentos científicos, pero todavía necesitan fortalecer la precisión conceptual y la delimitación de los problemas de investigación para defender sus afirmaciones con evidencia. En términos generales, podemos decir que el grupo 1 es el único grupo que en este momento se ubica en el nivel satisfactorio, aunque no

lo cumple en su totalidad, mientras que los grupos 2 y 4 se mantienen en un nivel insuficiente y, por otro lado, el grupo 3 no presenta una hipótesis que pueda ser evaluada.

La fase de orientación cumplió una función diagnóstica fundamental dentro del ciclo IBL, al permitir identificar las concepciones iniciales de los estudiantes y las principales dificultades que debían ser abordadas durante las fases posteriores. En este sentido, las hipótesis iniciales constituyeron un referente para orientar la retroalimentación docente y las actividades de indagación posteriores, favoreciendo un proceso gradual de reconstrucción del razonamiento científico. Como señalan Pedaste et al. (2015), la fase de orientación no busca que los estudiantes formulen hipótesis completamente elaboradas desde el inicio, sino que comiencen a movilizar sus conocimientos previos para construir explicaciones susceptibles de ser revisadas, discutidas y refinadas a lo largo del proceso investigativo.

Durante la sesión final de la fase de orientación se realizaron las discusiones grupales y un análisis colectivo del material de la cartilla (Figura 8), en el cual los estudiantes confrontaron sus ideas con las de sus compañeros y recibieron retroalimentación tanto de los docentes como del grupo de trabajo. Estas interacciones favorecieron procesos de argumentación y reflexión sobre la coherencia de las explicaciones propuestas, permitiendo que los estudiantes identificaran inconsistencias, reformularan relaciones causales y reconocieran la necesidad de delimitar con mayor precisión las variables involucradas.

Figura 8

Sesión de Orientación



Nota. Fotografías tomadas por los autores durante la implementación.

A & B. Estudiantes elaborando hipótesis y formulando discusiones grupales sobre la estructuración de la misma.

Como resultado de este proceso de retroalimentación, las hipótesis fueron revisadas para una sesión posterior, iniciando un proceso de refinamiento progresivo que buscó aproximarlas a las características de una hipótesis científica. Más allá de corregir respuestas puntuales, esta etapa permitió que los estudiantes comenzaran a diferenciar entre una opinión, una explicación conceptual y una hipótesis susceptible de investigación, estableciendo las bases para el desarrollo gradual de la competencia de formulación de hipótesis durante las siguientes fases del ciclo de aprendizaje basado en la indagación.

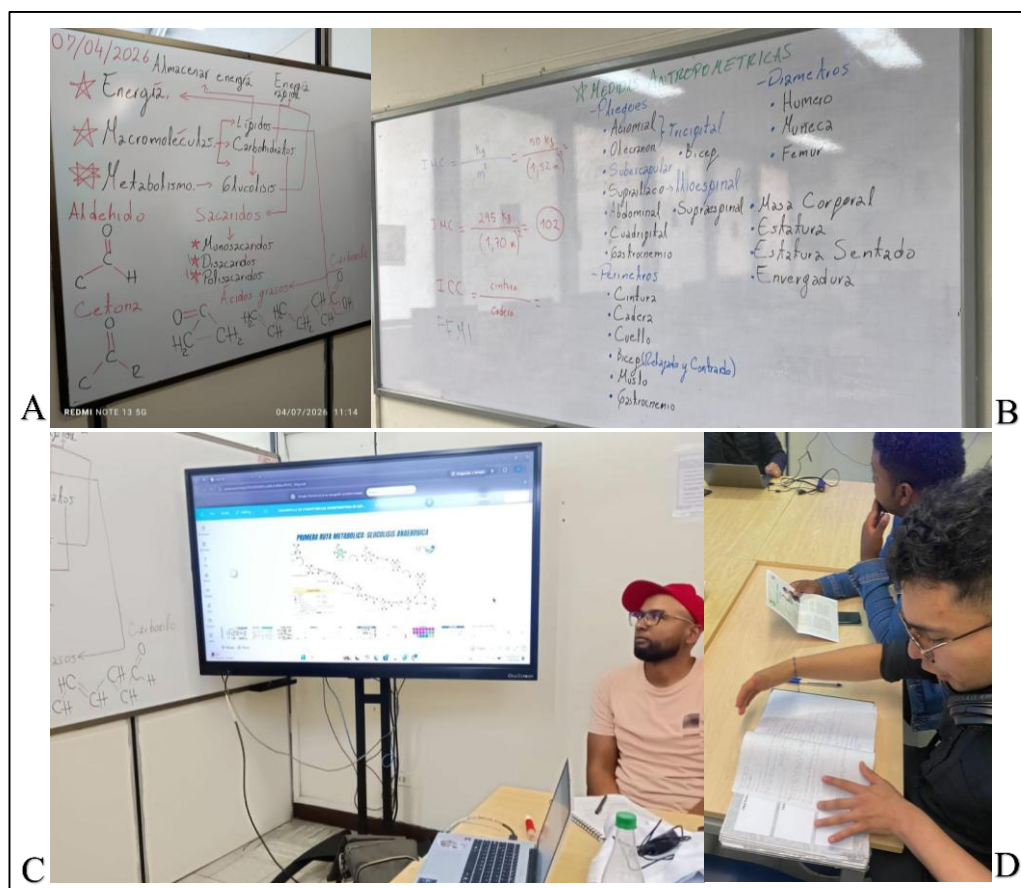
7.5. Fase de Conceptualización

En el desarrollo de esta fase los estudiantes hicieron uso de la cartilla didáctica diseñada para el proceso, en conjunto se realizó por parte de los docentes en formación, una serie de clases en donde se abordaron las distintas temáticas a desarrollar durante la implementación del proyecto, estas sesiones que se apoyaron en el empleo de material didáctico visual y explicativo permitió orientar la comprensión de conceptos fundamentales relacionados con macromoléculas (carbohidratos, lípidos y proteínas) como fuentes de

energía, así como nociones básicas de antropometría y clasificación corporal mediante el uso de somatocarta, ergoespirometría y rutas metabólicas (glucólisis anaeróbica, beta oxidación de ácidos grasos y fosfocreatina), como es posible apreciar en la Figura 9. Esta fase constituyó el momento más extenso durante la implementación debido a que era necesario enriquecer conceptualmente a los estudiantes debido a su procedencia de carreras no afines a la química en la mayoría de los casos. Se consolidaron los conocimientos bioquímicos y de la fisionomía del ejercicio necesarios para que los estudiantes pudieran interpretar, posteriormente, los fenómenos y las evidencias que observarían durante la fase de investigación.

Figura 9

Sesiones de Conceptualización



Nota. Fotografías tomadas por los autores durante la implementación.

- A. Uso del tablero para enseñanza de macromoléculas como fuentes de energía.
- B. Uso del tablero para enseñanza de mediciones antropométricas.
- C. Uso de material visual y explicativo para abordar las temáticas de las sesiones de implementación.
- D. Estudiantes interactuando con el material diseñado a modo de cartilla didáctica.

En el IBL esta etapa no debe entenderse solo como un momento aislado de transmisión de contenidos, sino como una etapa de construcción de fundamentos conceptuales desde los cuales los estudiantes formulan preguntas, hipótesis y orientan de mejor manera sus procesos de investigación (Pedaste et al, 2015). En consecuencia, esta fase de la implementación no constituyó momentos de evaluación formal para verificar el desarrollo de las competencias investigativas a ser evaluadas, sino que más bien se centró en proporcionar herramientas conceptuales que serían movilizadas posteriormente en el trabajo experimental a realizar.

A lo largo de esta etapa se observó cómo los participantes a medida que avanzaban las sesiones comenzaron a relacionar los conceptos con situaciones del mundo deportivo y fisiológico. En este proceso sus intervenciones cambiaron de ser solo sobre identificar conceptos y comenzaron a orientarse hacia cuestionamientos acerca de cómo funcionan los procesos del metabolismo energético en función de la actividad física, la alimentación y los hábitos de vida. Así el estudio de las macromoléculas no se limitó solo a su reconocimiento como categorías de sustancias químicas, sino que abrió espacio a discusiones sobre la participación diferencial en la obtención y utilización de energía durante la actividad física.

Esta transformación nos resultó relevante ya que evidencia que hubo un tránsito de los estudiantes desde aproximaciones declarativas hacia comprensiones relacionales de los contenidos que se abordaban. Desde la perspectiva del aprendizaje significativo, autores como Novak (2010) plantean que esta incorporación de nuevos conocimientos adquirió un sentido profundo ya que los alumnos fueron capaces de incorporar los nuevos conocimientos con los conceptos y proposiciones previamente situados en su estructura cognitiva. En este sentido se resalta la importancia de esta fase y las actividades

desarrolladas en ella ya que no se limitaron a la mera incorporación de nueva información sobre el metabolismo energético, sino que abrió la posibilidad a que los estudiantes establecieran conexiones entre conocimientos científicos y situaciones cercanas a sus entornos de práctica deportiva, la fatiga, la alimentación y el rendimiento físico resaltaron como los tópicos más recurrentes durante las sesiones por parte de los alumnos.

De manera similar, las discusiones sobre antropometría y clasificación de somatotipos permitieron identificar un proceso de reorganización conceptual en los estudiantes. Al principio, muchos pensaban que ciertas características corporales eran ventajas o desventajas absolutas para cualquier deporte, pero con la discusión, comenzaron a reconocer que la relación entre la composición corporal, el metabolismo energético y el rendimiento depende de muchas variables y de las demandas específicas de cada actividad física. En consecuencia, se produjo una complejización de las explicaciones iniciales que formulaban, al pasar de relaciones lineales entre características corporales y rendimiento a interpretaciones que consideraban múltiples factores como la intensidad del ejercicio, las reservas energéticas y la importancia del intercambio respiratorio durante el ejercicio.

Dichos procesos anteriormente enunciados pueden relacionarse con el desarrollo del pensamiento crítico que es comúnmente entendido como la capacidad de analizar conceptos, supuestos y relaciones antes de aceptar afirmaciones como válidas. Paul y Elder (2014) señalan que uno de los requerimientos de este tipo de pensamiento es el hecho de examinar la información mediante elementos del razonamiento como la identificación de propósitos, preguntas, supuestos, conceptos evidencias e implicaciones para la toma de decisiones o posturas. En las discusiones que se desarrollaron durante las sesiones los estudiantes comenzaron a cuestionar supuestos que creían como absolutos en su práctica deportiva acerca de su cuerpo y el rendimiento físico, de esta manera reconocieron que justificar sus respuestas o ideas debía sostenerse con argumentos basados en conceptos como los trabajados en clase. En lugar de memorizar información, comenzaron a usar los conceptos para explicar fenómenos relacionados con el ejercicio, la alimentación y la composición corporal, lo que refleja una aproximación al razonamiento científico. Driver et al (2000) señalan que la educación científica debe fortalecer la comprensión de cómo se

constituyen y justifican las explicaciones en ciencias mediante el uso de evidencias, conceptos y procesos de argumentación.

Aunque esta fase no correspondió a un momento de evaluación, el análisis de las interacciones observadas, las preguntas y las discusiones dadas a lo largo de las sesiones desarrolladas permitió observar los procesos de reorganización conceptual previamente comentados, los cuales serían relevantes para la posterior evaluación del desarrollo de las competencias investigativas. Esta función preparatoria se encuentra en consonancia con el carácter cíclico del modelo propuesto por Pedaste et al (2015), en el que la conceptualización y la investigación no constituyen momentos completamente independientes. Las preguntas resueltas y discutidas, así como las hipótesis a construirse posterior a esta fase a partir del conocimiento recientemente adquirido deben mostrar evidencia significativa de cómo es que esta fase aportó a la implementación al permitir que los estudiantes puedan generar ideas nuevas.

Cabe destacar que esta fase constituyó un espacio de consolidación de conocimiento científico que facilita el tránsito hacia la etapa de investigación/indagación. Las observaciones realizadas durante las sesiones sugieren que los estudiantes avanzaron desde el reconocimiento de conceptos aislados hacia la construcción de relaciones entre la bioquímica, la fisiología, la ergoespirometría y el deporte dentro de un problema en común: la comprensión del metabolismo energético. Aunque estos avances no fueron cuantificados mediante los instrumentos diseñados para la evaluación del instrumento, si se constituyeron en una base conceptual necesaria para continuar avanzando y evaluar las competencias investigativas en fases posteriores.

7.6. Fase de Investigación

La fase de investigación constituyó el eje central de la implementación del Aprendizaje Basado en la Indagación (IBL), puesto que en este momento los estudiantes comenzaron a movilizar los conocimientos que construyeron en fases anteriores, para obtener, organizar e interpretar las evidencias que observaran al indagar y experimentar. Las explicaciones construidas en sesiones anteriores fueron contrastadas durante esta etapa a través de diferentes actividades experimentales y de observación, lo que posibilitó analizar el

desarrollo de dos competencias investigativas: la formulación de hipótesis y la capacidad de analizar datos empíricos e interpretar resultados en función de sus hipótesis iniciales. De acuerdo con Pedaste et al. (2015), esta etapa comprende el centro de la metodología IBL, al contener momentos de exploración, experimentación, recolección y análisis de datos, mediante los cuales los alumnos buscaron obtener evidencia para examinar si sus ideas iniciales y las explicaciones que construyeron durante la conceptualización eran válidas. Durante esta fase, los alumnos participaron en tres experiencias principales, iniciando con un laboratorio de calorimetría en el que construyeron un calorímetro casero y estimaron la energía liberada durante la combustión de diferentes alimentos (Figura 10 A y B). Posteriormente, participaron en una jornada de evaluación antropométrica dirigida por un profesional certificado por la International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK), elaborando perfiles corporales y representaciones en somatocarta (Figura 10 D). Finalmente, durante una visita al laboratorio de fisiología de la sede Valmaría de la Universidad Pedagógica Nacional, analizaron el funcionamiento del ergoespirómetro y los registros de consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono como indicadores fisiológicos del metabolismo energético (Figura 10 C). Estas actividades permitieron que los estudiantes obtuvieran evidencia empírica procedente de diferentes fuentes y niveles de análisis, favoreciendo la contrastación de las relaciones causales planteadas en sus hipótesis y la observación de temáticas abordadas en clase, así como la formulación de explicaciones fundamentadas en datos obtenidos directamente durante el proceso investigativo.

Figura 10

Sesiones de Indagación



Nota. Fotografías tomadas por los autores durante la implementación.

A. Montaje de calorímetro con materiales caseros realizado por estudiantes.

B. Uso del tablero para enseñanza de calorimetría.

C. Sesión realizada en el campus de Valmaria para abordar temáticas relacionadas con los análisis ergoespirométricos.

D. Profesional certificado por la (ISAK) tomando mediciones antropométricas a una estudiante durante una de las sesiones de implementación.

Las experiencias desarrolladas en esta etapa permitieron a los estudiantes obtener evidencias procedentes de diferentes fuentes asociadas a cada temática central trabajada, desde la estimación de la energía liberada por diferentes alimentos hasta la observación de variables relacionadas con la composición corporal y la respuesta fisiológica del cuerpo al ejercicio físico. En consecuencia, esta fase no se limitó meramente a llevar a cabo procedimientos experimentales siguiendo el material que se le brindó a los estudiantes, esta etapa implicó un ejercicio de aplicación de los conceptos abordados con anterioridad al momento de relacionar preguntas, variables, datos y explicaciones. Esta articulación fue fundamental para evidenciar el pensamiento científico desarrollado por los participantes como se analizará a continuación, puesto que estos datos adquieren un significado al ser interpretados en relación con preguntas hechas por los docentes en un marco conceptual que permita que se den explicaciones sobre los patrones que se observan (Chinn & Mahorta, 2002; Kanari & Millar, 2004)

Tras las experiencias realizadas, se dio lugar a un segundo momento de evaluación que correspondió a la corrección de las hipótesis formuladas por los estudiantes. Dicha evaluación, que se dio con base en la rúbrica, se comparó con las producciones realizadas en la primera etapa de evaluación de esta competencia. En un principio se identificó que las producciones de los estudiantes habían sufrido un cambio general en la forma de estructurar las explicaciones dentro de las hipótesis. En las primeras producciones predominaban dificultades para delimitar fenómenos, distinguir variables y diferenciar explicaciones científicas de meras descripciones de conceptos. En las reformulaciones, aunque persistieron ciertas dificultades específicas, se observó una mayor tendencia a establecer relaciones causales, explicitar variables y construir proposiciones susceptibles de ser examinadas con evidencia empírica.

Un ejemplo es el Grupo 1 el cual constituye un ejemplo representativo de esta transformación. En su primera formulación, el grupo de alumnos estableció una proposición en donde cuestionaba el funcionamiento del cuerpo humano durante la actividad física en ausencia de macromoléculas, pero se incorporaba una posibilidad de identificar las macromoléculas mediante pruebas fisicoquímicas, Esta producción combinaba una explicación fisiológica poco integrada con la forma de comprobar la misma,

debilitando la relación hipotética que buscaban plantear. Por otro lado, en el segundo momento, el grupo formula que, “si un atleta consumía una cantidad adecuada de carbohidratos antes de una actividad física prolongada, aumentaría su rendimiento y resistencia, debido a que los carbohidratos constituían una fuente de energía inmediata y, en caso de agotamiento de sus reservas, el organismo recurriría a los lípidos como fuente energética alternativa”. La reformulación presenta variables identificadas explícitamente, una delimitación del fenómeno más adecuada y una integración entre el uso de las macromoléculas y la forma de contrastar empíricamente la hipótesis formulada.

Los cambios se pueden interpretar a partir de las concepciones de Bunge (1967), para quien una hipótesis científica debe establecer relaciones lógicas y ser susceptible de someter a contrastación, establecer variables claramente y estar claramente delimitadas. La hipótesis corregida de este grupo pasó de ser una explicación general sobre el uso de los sustratos energéticos a una proposición que identifica una condición, una consecuencia esperada y variables que podían ser consideradas dentro de un diseño investigativo. La formulación observada se aproximó a los criterios de la rúbrica relacionados a la claridad, la coherencia conceptual, la identificación de diferentes tipos de variables y la contrastación experimental, sin embargo, esta seguía ubicándose en un grado satisfactorio según lo niveles establecidos en la rúbrica, aunque con atisbos de los criterios necesarios para entrar en el nivel sobresaliente debido a que la formulación todavía requería de una mayor precisión metodológica para operacionalizar variables y ampliar un poco el carácter explicativo de la hipótesis.

Por otro lado, el Grupo 2 también mostró una transformación significativa. En la primera evaluación realizada, su producción se limitaba a describir funciones generales de las macromoléculas trabajadas, afirmando las funciones biológicas específicas de cada sustancia dentro del organismo humano. Si bien se apreciaba el conocimiento disciplinar del funcionamiento de las macromoléculas, esta producción no establecía una relación causal delimitada y lógica que pudiera ser examinada empíricamente. Pero en el segundo momento, el grupo de alumnos formuló que “el incremento del consumo de carbohidratos complejos, acompañado de una rutina de ejercicios aeróbicos, aumentaría la eficiencia en la obtención y utilización de energía evidenciable en una mayor producción de ATP y una

disminución de la fatiga durante la actividad física”. Esta propuesta de hipótesis muestra que existe un avance desde su primera aproximación al movilizar el conocimiento conceptual hacia una explicación de tipo causa y consecuencia, al relacionar el consumo de un sustrato energético con procesos metabólicos y con una respuesta fisiológica observable en el rendimiento físico.

No obstante, la hipótesis sigue presentando oportunidades de fortalecimiento. La producción presentada vinculaba directamente el consumo de carbohidratos con una mayor producción de ATP, pero carecía de definir con una mayor precisión cómo se medirían las variables que expresa, así como tampoco establecía claramente las condiciones necesarias para atribuir los cambios observados exclusivamente a la intervención que propone el grupo. Por esto, aunque la formulación presentada se aproxima a criterios como ser una hipótesis explicativa, aun requería una mayor operacionalización para completar el nivel sobresaliente en la rúbrica que se utilizó para evaluar las hipótesis. Esta dificultad es importante ser resaltada ya que, como se ha mencionado anteriormente, la comprensión de conceptos científicos no implica directamente la capacidad de usarlos para construir explicaciones investigables; la investigación requiere de una adecuada articulación entre el conocimiento conceptual y preguntas, variables, procedimientos y evidencias (National Research Council, 2012).

Otro caso, en esta ocasión el del Grupo 3 presenta una situación particularmente significativa. El primer momento de entrega de hipótesis no se realizó por parte de este grupo, por lo cual no resultó un trabajo susceptible a ser evaluado. En esta segunda ocasión de evaluación, el grupo formula una explicación en donde “una persona sometida a un alto esfuerzo físico que no consuma proteína de origen animal tendrá una alta probabilidad de padecer fibromialgia debido a la ausencia de aminoácidos esenciales”. Aunque esta hipótesis presenta problemas conceptuales importantes y no alcanza a ubicarse en un nivel satisfactorio de cumplimiento de criterios de la rúbrica para ser una hipótesis adecuada o científicamente rigurosa, sí presenta un avance respecto a la ausencia de producción del primer momento. Se resalta que el grupo establece una relación causal entre una condición nutricional y una consecuencia fisiológica, aunque la relación propuesta no está adecuadamente fundamentada o delimitada.

Este caso es interesante para una cautelosa interpretación, ya que el aumento en la complejidad formal de la producción muestra un mayor grado de apropiación de los conocimientos, de modo que se plantean hipótesis buscando cumplir con lo solicitado, pero no implica que directamente la explicación dada sea científicamente válida. Por tanto, se resalta que este grupo debía fortalecer su fundamentación conceptual y la posibilidad de formular una forma de contrastar las ideas que proponen.

Por último, el Grupo 4, pasa de la formulación en un primer momento que combinaba una pregunta sobre el consumo de macromoléculas, una explicación anticipada sobre el agotamiento de los carbohidratos y posibles consecuencias fisiológicas, a una hipótesis claramente delimitada en un segundo momento. La nueva hipótesis entregada establecía que, “si una persona mantenía durante un periodo prolongado una ingesta insuficiente de lípidos, las reservas de grasa del tejido adiposo disminuirían progresivamente hasta aproximarse a un nivel mínimo fisiológico, lo que se reflejaría en una reducción del volumen corporal asociado a la grasa”. De esta hipótesis se puede notar que persisten problemas relacionados con la precisión de algunos conceptos y la definición de indicadores observables y medibles para contrastar experimentalmente la hipótesis, la formulación muestra una relación de causa y efecto más organizada entre la propuesta y el resultado esperado que en la primera evaluación sometida. Al igual que el Grupo 1, esta hipótesis cumple con los requerimientos en cuanto a criterios necesarios para completar el nivel satisfactorio de la rúbrica, y se aproxima ligeramente a cumplir los criterios necesarios para el nivel sobresaliente de la evaluación de esta competencia.

En general, el análisis realizado a las producciones de los alumnos permite identificar una transformación que puede resumirse a grandes rasgos en una mejora al transitar desde explicaciones generales, descriptivas o poco delimitadas en su mayoría hacia propuestas con mayor estructura causal lógica y una mayor posibilidad de contrastación. No obstante, este avance no es homogéneo en la población trabajada, hay una persistencia de dificultades respecto a la operacionalización de variables, la definición de indicadores observables y la precisión conceptual de algunas propuestas. Por tanto, hasta el momento el desarrollo de esta competencia no se concibe con un dominio apropiado según lo esperado con las actividades realizadas, por lo que en busca de una mayor progresión hacia formas

de razonamiento más próximas a las prácticas investigativas se retroalimentó a los grupos y se les invitó a mejorar sus producciones para una próxima ocasión.

Los resultados obtenidos evidencian que el trabajo desarrollado en las fases previas favoreció significativamente el fortalecimiento de la competencia de formulación de hipótesis, aunque aún con posibilidades de mejora. La transformación observada encuentra un respaldo cuantitativo al hacer uso del software estadístico IBM SPSS. El análisis descriptivo (Figura 11) mostró un incremento de la puntuación media desde 0.81 en el primer momento de evaluación hasta 2.35 en el segundo, respecto al desempeño inicial, aunque con un desvío de los datos mayor en comparación, lo que sugiere que el desarrollo de las competencias investigativas en los estudiantes presentó un rendimiento muy variable, esto se confirma al observar el aumento en la mediana el cual indica que buena parte de los grupos de alumnos obtuvo puntajes altos.

Figura 11

Análisis estadístico descriptivo para el primer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.

Descriptivos

			Estadístico	Error estándar
Hipotesis primer momento	Media		,808	,2158
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,333	
		Límite superior	1,283	
	Media recortada al 5%		,804	
	Mediana		1,100	
	Varianza		,559	
	Desv. estándar		,7477	
	Mínimo		,0	
	Máximo		1,7	
	Rango		1,7	
	Rango intercuartil		1,6	
	Asimetría		-,085	,637
	Curtosis		-1,964	1,232
Hipotesis segundo momento	Media		2,350	,3423
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,597	
		Límite superior	3,103	
	Media recortada al 5%		2,417	
	Mediana		3,000	
	Varianza		1,406	
	Desv. estándar		1,1859	
	Mínimo		,0	
	Máximo		3,5	
	Rango		3,5	
	Rango intercuartil		1,9	
	Asimetría		-,738	,637
	Curtosis		-,712	1,232

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Se evaluó el supuesto de normalidad sobre las diferencias entre las puntuaciones obtenidas en el primer y segundo momento de evaluación con la prueba paramétrica de Shapiro-Wilk (Figura 12) aplicada a la diferencia entre ambos momentos, esta prueba mostró que la distribución de las diferencias no presentó desviaciones significativas respecto a la normalidad y se aceptó la hipótesis de normalidad debido a que la $p > .05$ ($W =$

.870; $p = .065$), por lo que se procedió a usar una prueba t para muestras relacionadas teniendo en cuenta la diferencia entre las medias del segundo y primer momento.

Figura 12

Análisis estadístico de supuesto de normalidad para la diferencia entre el segundo y el primer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIF_HIPOTESIS	,193	12	,200*	,870	12	,065

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

La comparación mostró diferencias estadísticamente significativas entre ambos momentos de evaluación ($t(11) = -7.914$, $p < .001$), indicando que el incremento observado difícilmente puede atribuirse al azar. Asimismo, el tamaño del efecto calculado mediante la d de Cohen ($|d| = 2.29$) presentó una magnitud del cambio muy grande, superando ampliamente el criterio propuesto por Cohen (1988) para considerar un efecto de alta relevancia práctica (>0.80). En conjunto, estos datos indican que las actividades implementadas durante la fase de investigación, así como se analizó anteriormente no solo produjeron mejoras observables en las puntuaciones obtenidas por los estudiantes, sino que a modo de una tendencia general se produjeron transformaciones educativas significativas en la manera en que estos construían y estructuraban sus hipótesis científicas.

Figura 13

Análisis estadístico de tamaño de efecto para muestras emparejadas para la diferencia

entre el primer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.

Tamaños de efecto de muestras emparejadas

			Standardizer ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
Par 1	Hipotesis primer momento	d de Cohen	,6748	-2,285	-3,370	-1,173
	- Hipotesis segundo momento	corrección de Hedges	,7256	-2,125	-3,134	-1,091

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto.

La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra de la diferencia de medias.

La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra de la diferencia de medias, más un factor de corrección.

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

De forma paralela, durante esta etapa de la implementación se evaluó el desarrollo de la competencia de capacidad de análisis e interpretación de datos empíricos e interpretación de resultados en función de la pregunta de investigación. La evaluación de esta etapa buscaba que los estudiantes relacionaran los conocimientos recientemente adquiridos acerca de macromoléculas, tipos somáticos y ergoespirometría particularmente centrado en las producciones derivadas de un laboratorio de calorimetría, en el informe entregado por los estudiantes estos debían ser capaces de identificar variables, registrar y organizar datos, realizar cálculos, reconocer patrones y construir interpretaciones validas que se relacionen con el fenómeno que se pretendía investigar. Esta competencia se evaluó en función de la rúbrica de evaluación definida para el proyecto. Como lo señala Kanari y Millar (2004), una de las dificultades más frecuentes de los estudiantes al desarrollar investigación científica escolar se centra en establecer conexiones adecuadas entre datos y explicaciones científicas, aspecto que se manifestó de forma limitada.

El Grupo 1 presenta el desarrollo más amplio de esta competencia durante la primera etapa de evaluación ya que fue capaz de identificar diferentes variables como “tipo de alimento” y lo relacionó con “energía liberada (Q)” y “unidad de masa”. También reconoció variables de control vinculadas al propio experimento como masa del agua, temperatura y condiciones del calorímetro. Los estudiantes analizaron comparativamente los resultados obtenidos y observados en función del tipo de alimento utilizado, evidenciando un reconocimiento de patrones a partir de los datos al decir cosas como “la

menta liberó más energía que el maní” un avance que resalta que no se limitan a la mera descripción de los valores. Esta capacidad de identificar estos patrones en los datos y conectarlos con el fenómeno estudiado (liberación de energía) corresponde a lo que plantea Zimmerman (2007) al vincular la indagación científica con la construcción y evaluación de explicaciones a partir de la evidencia. Lo anterior se refuerza al notar un aspecto importante en su producción; el hecho de que el grupo reconoce una discrepancia entre el resultado experimental y la teoría asociada a la composición de los alimentos utilizados. El grupo propone que una posible explicación puede ser “la combustión incompleta” y la “pérdida de calor”, esto muestra una aproximación del grupo a una mirada crítica de los resultados que se obtuvieron ya que consideraron incluso limitaciones del procedimiento.

Esta situación constituye un avance hacia el cumplimiento parcial de los criterios del nivel sobresaliente de la rúbrica, los cuales no se alcanzan debido a que el grupo carece de explicaciones más amplias que relacionen las evidencias concretas del procedimiento realizado con justificaciones más plausibles en el contexto de la práctica de laboratorio, falta también una distinción entre la energía liberada durante el experimento por la combustión en el calorímetro con la producción de energía metabólica en el cuerpo como se abordó durante sesiones anteriores debilitando la coherencia conceptual. Como lo proponen Chinn y Malhotra (2002), el razonamiento científico debe articular de manera coherente las afirmaciones, la evidencia y los procedimientos que sustentan la interpretación de los datos obtenidos.

Por su parte el Grupo 2 mostró principalmente un desarrollo satisfactorio. El grupo inicia por reconocer a modo de variables el tipo de alimento y su cantidad como variable independiente y el cambio de temperatura del agua como variable dependiente, además de eso establece algunas posibles variables de control. El grupo de estudiantes comprendía de qué manera organizar la información experimental obtenida para convertir los datos en resultados calculables. Sin embargo, encontraron una dificultad en explicar apropiadamente el significado de los valores y de qué forma debían responder a su hipótesis inicial. Por ello, aunque el grupo cumple con ciertos criterios todavía no alcanza a completar el nivel sobresaliente de la rúbrica ya que este exige cosas que no se apreciaron en la producción de este grupo, como el establecimiento de relaciones explicativas y la formulación de

conclusiones sustentadas. Esta dificultad coincide con lo descrito por Kanari y Millar (2004) al proponer que existe la posibilidad de que los estudiantes realicen operaciones sobre los datos sin que necesariamente construyan inferencias científicas a partir de ellos. Se retroalimentó al grupo para mejorar su desempeño solicitando que comparasen explícitamente sus resultados con los de otras muestras para que de esta manera fuera posible identificar tendencias y vincular de mejor manera los cálculos realizados con las temáticas abordadas en las clases como la composición química de los alimentos y la función energética de los sustratos que los componen.

En el lado contrario de lo observado en los grupos anteriores el Grupo 3 una vez más no entregó una producción susceptible de ser evaluada con la rúbrica. Como consecuencia no fue posible determinar el nivel de desarrollo de la competencia por parte de este grupo. No obstante, este resultado no permite afirmar que el grupo carecía de la capacidad de analizar los datos que obtuvieron, sino que en este momento no produjeron una evidencia suficiente para poder evaluarlos adecuadamente. Desde la perspectiva de evaluación de competencias es importante distinguir que el desempeño de los estudiantes se infiere directamente de las evidencias observables y no de la ausencia de sus producciones como un indicador directo de su capacidad cognitiva.

Por último, el Grupo 4 si bien identifica variables y realiza los cálculos necesarios vinculados a los cambios de temperatura registrados, Asimismo muestra una dificultad para diferenciar entre los datos obtenidos y la explicación teórica que utiliza. El grupo reconoce una relación y un patrón entre el proceso experimental y el cambio que observaron al decir que “al quemar el alimento debajo del recipiente con agua, la temperatura del agua aumenta de manera sostenida”, al mismo tiempo relaciona una diferencia entre la cantidad de energía liberada por un chicle dada su composición química en macromoléculas, pero el grupo no la sustenta de forma suficiente como para considerarla una comparación experimental amplia y válida. En consecuencia, si bien el grupo identifica patrones carece de una capacidad desarrollada de relacionar afirmaciones con evidencia concreta que las sustente. Por lo anterior, el grupo se mantiene en un nivel satisfactorio de desarrollo de la competencia, la ausencia de una comparación sistemática de los datos disponibles, una justificación de la conclusión en torno a los valores obtenidos experimentalmente una vez

realizados los cálculos de energía liberada y la falta de una distinción que explique lo experimentado en el laboratorio con los conocimientos teóricos previamente abordados no permite que se considere que esta competencia se desarrolló más allá del nivel satisfactorio.

De forma general las producciones de los participantes en lo referente a esta competencia mostraron un desempeño inicial con un cumplimiento del nivel satisfactorio en la mayoría de los casos con esbozos del nivel sobresaliente, se caracterizó este momento por un desempeño adecuado en la capacidad de registrar información, identificar variables, reconocer relaciones y patrones y realizar cálculos, pero con dificultades notables para usar los datos como evidencia contundente al desarrollar explicaciones y la realización de comparaciones sistemáticas de los datos para construir conclusiones. El análisis de los cuatro grupos permite identificar que hay una tendencia hacia reunir los datos con mayor facilidad para interpretarlos científicamente y ponerlos en función de las hipótesis planteadas.

En el primer momento de evaluación, los análisis realizados anteriormente se pueden contrastar en el análisis estadístico descriptivo (Figura 14) que se realiza a los informes de laboratorio presentados, con una puntuación media de 2.08 (SD = 1.84), el resultado inicial de esta competencia sugiere que los estudiantes de forma global en la implementación de esta etapa de la metodología IBL cumplen parcialmente los criterios para ubicarse en el nivel satisfactorio, respaldando de esta manera el análisis realizado con anterioridad aunque demostrando que los criterios cumplidos del nivel sobresaliente aun necesitaban trabajarse más en los grupos para que la aproximación concebida hasta el momento pueda concretarse como un cumplimiento de criterios al menos parcial. La variabilidad tan alta se relaciona con la heterogeneidad observada al momento de la entrega de informes, en donde un grupo directamente no presenta un trabajo susceptible de evaluación con la rúbrica y otro grupo apenas lograr completar los criterios del segundo nivel de la misma.

Figura 14

Análisis estadístico descriptivo para el primer momento de evaluación de la competencia de capacidad de analizar datos empíricos e interpretar resultados en función de la pregunta de investigación

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
Analisis de datos Primer momento	12	,0	3,7	2,075	1,8410
N válido (por lista)	12				

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Para continuar desarrollando el tránsito desde el nivel satisfactorio al nivel sobresaliente de la rúbrica, era necesario fortalecer especialmente la comparación sistemática de los datos, la justificación de las conclusiones, la delimitación de lo que podía afirmarse directamente con la evidencia obtenida y la relación con la hipótesis inicial que se planteó. Por tanto, la fase finalizó realizando un proceso de retroalimentación y discusión durante las sesiones para resaltar las fortalezas y oportunidades de mejora que se observaron durante el proceso evaluativo.

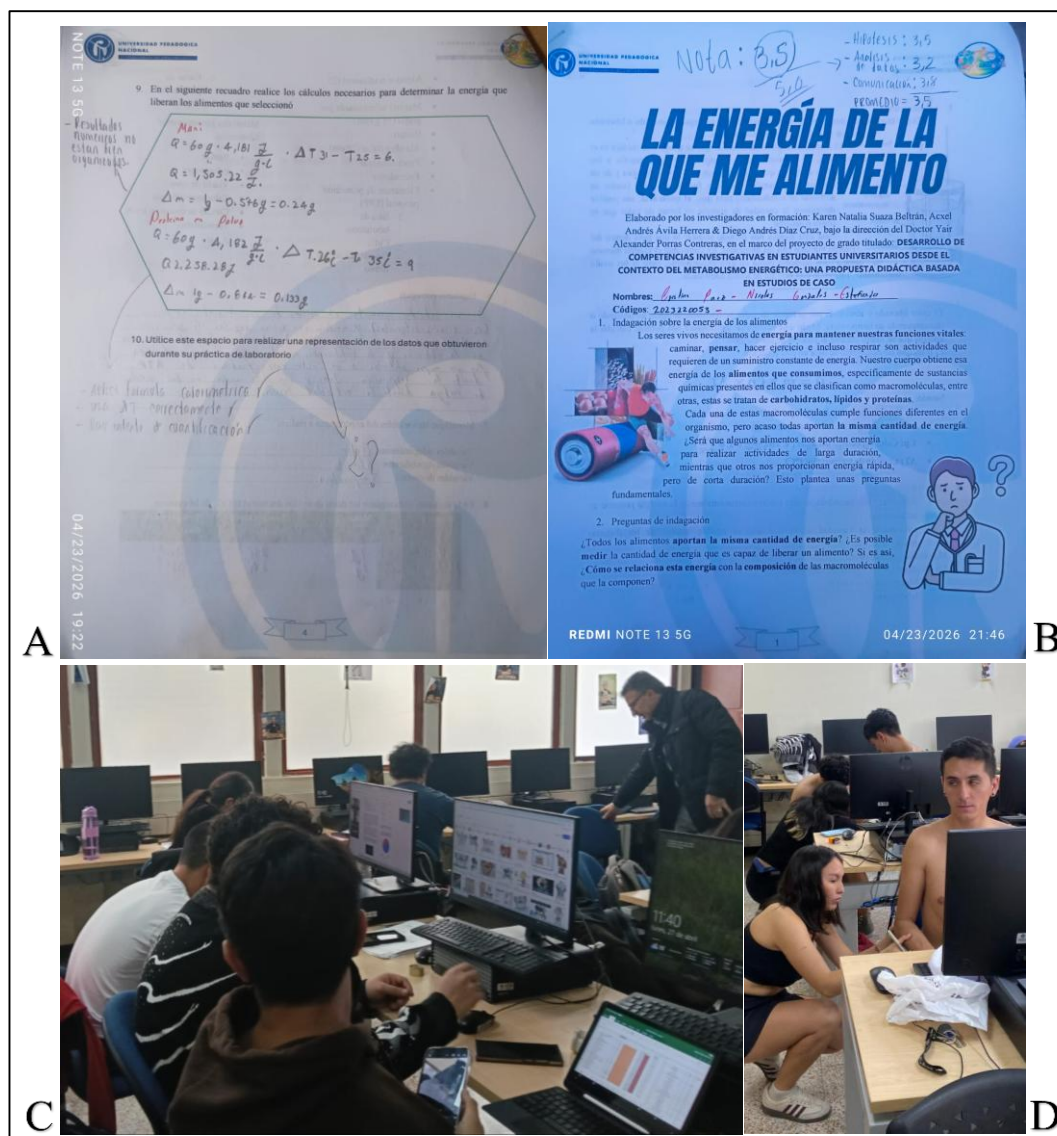
7.7. Fase de Conclusión

En esta fase los estudiantes hicieron uso de la guía de laboratorio expuesta en el Anexo 2 (Cartilla didáctica) y extrajeron conclusiones obtenidas de las actividades experimentales realizadas en su práctica de laboratorio de calorimetría, de esta sesión se obtuvo como producto un informe de laboratorio (Figura 15 A & B), oportunamente revisado y enviado para corrección por parte de los estudiantes para retroalimentar su proceso en lo referente a la competencia análisis de los datos empíricos obtenidos durante el laboratorio. Los estudiantes debían retomar su trabajo y construir explicaciones, contrastar sus hipótesis y comunicar adecuadamente los aprendizajes derivados y contruidos en el proceso investigativo. De manera complementaria, como producto de su estudio antropométrico, los estudiantes debían construir su propio informe hecho con base en sus mediciones antropométricas (Figura 15 C & D) en una plantilla de Proforma, provista por el profesional certificado de la ISAK (Anexo 3) y extraer del mismo conclusiones acerca de su composición física en torno al metabolismo energético que realiza su cuerpo para mejorar sus procesos de relación y discusión de los resultados. En

este orden de ideas, la fase no se limitó a la elaboración de simples conclusiones finales sobre su investigación, sino que permitió integrar todas las competencias investigativas que se buscaron desarrollar a lo largo de la implementación.

Figura 15

Sesiones de Conclusión



Nota. Fotografías tomadas por los autores durante la implementación.

A & B. Informes de laboratorio entregados por los estudiantes en el marco de una práctica de calorimetría realizada en una sesión de implementación.

C & D. Estudiantes realizando algunas mediciones antropométricas sencillas y llenando la plantilla antropométrica del Anexo N°3.

El análisis a realizar se centra en tres evidencias: Primero se analizaron las hipótesis de los grupos tras haber realizado procesos de retroalimentación en dos ocasiones, a propósito de identificar avances en el cumplimiento de criterios como la construcción de relaciones causales y la lógica en la proposición de una contrastación experimental plausible. Continuando, en segundo lugar, se compararon las producciones evaluadas para la competencia de la capacidad de analizar datos empíricos e interpretar resultados en función de la pregunta de investigación, atendiendo a las formas en la que los grupos incorporaron la retroalimentación realizada por los docentes en formación. Por último, se hizo un análisis de la competencia de los alumnos de dar a conocer los resultados de investigación, realizar informes, presentar hallazgos y construir conocimiento que pueda resultar útil para otros, utilizando los informes elaborados por los grupos investigados como evidencia inicial de esta competencia.

En lo referente a la evaluación final de las hipótesis formuladas, el Grupo 1 planteó que “Si un atleta consumía maní en lugar de un alimento rico en azúcares antes del ejercicio, tendría mayor disponibilidad energética debido a la mayor densidad energética de los lípidos”. En comparación con la hipótesis anterior en el que habían planteado que “el consumo de carbohidratos antes de una actividad prolongada aumentaría el rendimiento y la resistencia”, la nueva producción de este grupo delimita con mejor precisión el fenómeno que se buscaba investigar mientras que al mismo tiempo establece una comparación concreta entre dos tipos de alimentos. Este cambio ubica el desempeño del grupo en un nivel de cumplimiento de criterios de la rúbrica más apto para el nivel sobresaliente. En términos de Bunge (1967) esta producción avanza hacia una proposición más explicativa y susceptible de ser contrastada empíricamente. Sin embargo, para cumplir plenamente con este nivel de la rúbrica, el grupo debía haber operacionalizado con mayor precisión expresiones como “tener más energía” y “mantener el rendimiento”, ampliándolas hacia indicadores observables que permitirían contrastar la hipótesis de forma directa.

Por parte del Grupo 2, se aprecia un avance significativo al proponer una hipótesis final en la que relaciona el consumo de alimentos que proporcionan energía de diferentes

sustratos con una mayor disponibilidad de sustancias útiles en la respiración celular, una mayor producción de ATP como consecuencia y una disminución de la fatiga durante el ejercicio. Frente a la hipótesis que plantearon anteriormente que se centraba en el consumo de carbohidratos complejos y la eficiencia energética, esta nueva producción amplía y articula con mayor claridad las variables relacionadas a la alimentación, el ejercicio y la respuesta del metabolismo energético del cuerpo. Lo observado aquí es que hay un sustancioso avance al construir relaciones causa-consecuencia y elaborar explicaciones científicas al proponer una hipótesis, aspectos que Ennis (2011) relaciona con el desarrollo del pensamiento crítico. Sin embargo, aunque el grupo presenta avances aun no completa totalmente los criterios necesarios para cumplir a cabalidad el nivel sobresaliente de la rúbrica, aún faltaba delimitar mejor la cantidad y tipo de proteína a usarse, así como indicadores concretos que pudieran explicar la “disponibilidad de sustratos”, la “producción de ATP” y la “disminución de la fatiga”, puesto que una hipótesis científica requiere que las consecuencias de sus formulaciones puedan ser medidas.

Al analizar la producción del Grupo 3, el cual pasó de no presentar una hipótesis evaluable en el primer momento se puede observar que ahora formula una proposición en un grado de avance del cumplimiento de los criterios de la rúbrica que los posiciona completando enteramente el nivel satisfactorio, su producción final establece que “los alimentos con mayor contenido de lípidos liberaran más energía al ser quemados” que aquellos en los que predominan carbohidratos y proteínas. El avance del Grupo 3 muestra que consigue parcialmente establecer relaciones causales, aunque el nivel descriptivo de la hipótesis propuesta, en su mayoría, demuestra que el grupo termina con dificultades para definir con mayor precisión las variables y la forma en la que esperaba medir la energía. Además, el grupo no estableció condiciones de comparación entre los alimentos para cumplir los criterios del nivel sobresaliente.

Por último, el Grupo 4 en su hipótesis final propone que una ingesta insuficiente de lípidos durante un periodo prolongado produciría una disminución progresiva de las reservas de grasa del tejido adiposo y una reducción del volumen corporal asociado a la grasa. Comparándola con la proposición anterior, que planteaba de manera general que la ausencia de lípidos llevaría la reserva adiposa a “un mínimo fisiológico”, la nueva

proposición muestra una relación temporal y causal más clara, las observaciones evidencian una mejor estructuración lógica y una mayor delimitación del fenómeno a investigar. El grupo aún carece de precisar de mejor manera lo que entiende por “ingesta insuficiente”, cómo se medirían las reservas de grasa y que indicadores podrían establecer una relación entre estas y la reducción del volumen corporal. Para terminar esta evaluación, el grupo alcanza el nivel satisfactorio de la rúbrica y demuestra esbozos de cumplimiento de los criterios del nivel sobresaliente, pero aún necesita fortalecer la operacionalización de variables para alcanzar una hipótesis plenamente contrastable.

En términos estadístico-descriptivos, los resultados respaldan un nuevo incremento en las puntuaciones obtenidas por los estudiantes respecto al segundo momento de evaluación (Figura 16), refiriéndose directamente al aumento de la media global, indicando que el proceso de revisión y reformulación de las hipótesis continuó favoreciendo el fortalecimiento de esta competencia investigativa, evaluada con la rúbrica. La dispersión ($SD=,6326$) de los datos resulta con mayor moderación en comparación con el momento anterior, demostrando un comportamiento significativamente más homogéneo y concentrado en la última evaluación. Este comportamiento sugiere que las actividades desarrolladas a lo largo del ciclo de indagación no solo permitieron corregir dificultades iniciales, sino que promovieron un refinamiento progresivo de la estructura lógica de las hipótesis y de su capacidad para ser contrastadas mediante evidencia empírica, aspectos que, según Pedaste et al. (2015), caracterizan las fases avanzadas del Aprendizaje Basado en la Indagación.

Figura 16

Análisis estadístico descriptivo para el segundo y tercer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.

Descriptivos

			Estadístico	Error estándar
Hipotesis segundo momento	Media		2,350	,3423
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,597	
		Límite superior	3,103	
	Media recortada al 5%		2,417	
	Mediana		3,000	
	Varianza		1,406	
	Desv. estándar		1,1859	
	Mínimo		,0	
	Máximo		3,5	
	Rango		3,5	
	Rango intercuartil		1,9	
	Asimetría		-,738	,637
	Curtosis		-,712	1,232
Hipotesis tercer momento	Media		3,825	,1826
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,423	
		Límite superior	4,227	
	Media recortada al 5%		3,833	
	Mediana		3,900	
	Varianza		,400	
	Desv. estándar		,6326	
	Mínimo		3,0	
	Máximo		4,5	
	Rango		1,5	
	Rango intercuartil		1,3	
	Asimetría		-,234	,637
	Curtosis		-1,870	1,232

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Conociendo las diferencias generales entre el desempeño de los estudiantes comparando el segundo y el tercer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis, se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Figura 17) aplicada a las diferencias entre ambas mediciones. Los resultados revelaron una significación de $p=.023$. Este valor por debajo del alfa convencional ($p>.05$) rechaza la hipótesis nula de normalidad, razón por la cual no fue apropiado emplear una

prueba paramétrica para comparar las puntuaciones ya que los datos no cuentan con una distribución normal.

Figura 17

Análisis estadístico de supuesto de normalidad para la diferencia entre el tercer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIF_HIPOTESIS_2	,321	12	,001	,833	12	,023
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Debido al incumplimiento del supuesto analítico se recurrió a la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon (Figura 18), recomendada para comparar mediciones relacionadas cuando no se satisface dicho supuesto (Field, 2018). Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre el segundo y el tercer momento de evaluación ($Z = -3.074$, $p = .002$), con un tamaño del efecto calculado mediante el coeficiente r de .89 ($>.50$), valor que corresponde a un efecto muy grande (Cohen, 1988).

Figura 18

Análisis estadístico no paramétrico de rangos con signo de Wilcoxon para la diferencia entre el tercer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de

hipótesis.

Estadísticos de prueba^a

	Hipotesis tercer momento - Hipotesis segundo momento
Z	-3,074 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,002

a. Prueba de rangos con signo
de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

1.

$$2. \quad r = \frac{|Z|}{\sqrt{N}} = \frac{|-3,074|}{\sqrt{12}} = \frac{3,074}{3,464} = 0,89$$

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

1. *Prueba de rangos con signo de Wilcoxon*

2. *Calculo de tamaño de efecto mediante coeficiente r*

Este resultado indica que el incremento observado y analizado en las puntuaciones obtenidas por los Grupos de la implementación en lo referente a la competencia de formulación de hipótesis no se constituye meramente en una variación numérica, sino que hubo un cambio de alta magnitud en su desempeño con respecto al momento anterior. Con los resultados del análisis estadístico realizado es posible afirmar con certeza que la comparación entre los dos momentos mejoró en función de la retroalimentación que favoreció el tránsito desde formulaciones generales hacia proposiciones más delimitadas, causales y susceptibles de ser contrastadas. Para finalizar la evaluación de esta competencia se resalta que la principal fortaleza en el desarrollo de la misma se encuentra en la incorporación más frecuente de relaciones explícitas entre variables y explicaciones fundamentadas. No obstante, persistió como un aspecto común a fortalecer la

operacionalización, es decir, la definición de indicadores observables que permitieran verificar de manera directa las predicciones que se proponen. Esta dificultad, resulta relevante porque, como lo plantea Bunge (1967), una hipótesis científica no se define únicamente por adoptar una estructura, sino más bien por establecer relaciones conceptualmente coherentes cuyas consecuencias sean susceptibles de ser sometidas a contrastación.

En lo referente a la competencia de análisis e interpretación de datos empíricos, durante la fase anterior las producciones de los alumnos mostraron que podían registrar información y realizar cálculos, pero existían carencias para hacer uso de los datos como evidencia que reforzara los argumentos que daban como se aprecia en la Figura 19. Tras su respectiva retroalimentación se esperaba que la relación entre resultados y explicaciones se viera desarrollada y/o fortalecida. El Grupo 1, por ejemplo, pasó de simplemente identificar variables experimentales como tipo de alimento y energía liberada a discernir con mayor consistencia entre variables relacionadas al fenómeno investigado y aquellas propias de la práctica experimental que se realizó. En la corrección realizada por el grupo, explicitan el “tipo de macronutriente que se consume antes de hacer ejercicio” como variable independiente y el rendimiento, la resistencia y la fatiga como posibles variables dependientes; simultáneamente, mantuvieron para el experimento de laboratorio de calorimetría variables como la energía liberada por unidad de masa. Este cambio observable muestra una mejoría en la capacidad de diferenciar entre las variables propias de un diseño experimental y las variables inherentes a un fenómeno que se pretende investigar y que deben ser medidas y observadas, mientras tanto el grupo continua organizando de forma práctica los datos obtenidos del experimento y los resultados que obtienen al realizar los cálculos necesarios, si bien abandonan las descripciones literales al momento de explicar sus resultados logra ubicarse solo de manera parcial en el nivel sobresaliente de la rúbrica, la ausencia de una interpretación sistemática de los valores obtenidos que permitiera conectarlos con la hipótesis de investigación final es la razón principal de no completar en totalidad los criterios de dicho nivel.

Figura 19

Ejemplos representativos de las transiciones de los discursos de los estudiantes al analizar los datos experimentales obtenidos durante su práctica de laboratorio

Patrón: Al quemar el chicle, la temperatura del agua aumenta → aumenta la liberación de energía.

Relación: mayor energía, alimento → mayor aumento de temperatura.

Macromoléculas: el chicle contiene principalmente carbohidratos y lípidos. donde, se liberan energía química.

Esto se relaciona. Con el metabolismo, donde los alimentos liberan energía al degradarse.

Punto 11: Teniendo en cuenta la hipótesis ¿Se cumple la hipótesis? ¿Los resultados obtenidos logran una aproximación a cumplir los objetivos? Justifique su respuesta desde los datos obtenidos

Si se cumple parcialmente:

el chicle si libera energía evidenciada por el aumento de temperatura. sin embargo, puede haber errores por perdida de calor al ambiente.

A

RTA: Se observa como patrón principal que el aumento de la temperatura del agua está directamente relacionado con la cantidad de energía liberada por cada muestra, evidenciado en que la menta presentó un mayor incremento de temperatura ($\Delta T = 7^{\circ}\text{C}$) y, por tanto, una mayor liberación de energía (420 cal) en comparación con el maní ($\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$; 300 cal). Esto indica que existe una relación directa entre el cambio de temperatura y la energía calculada mediante la ecuación de calorimetría.

Asimismo, se identifica un patrón comparativo entre las muestras, donde una libera más energía que la otra bajo las mismas condiciones experimentales, lo que permite establecer diferencias en su comportamiento energético.

Se observa que existe una relación entre el tipo de alimento y la cantidad de energía que libera, ya que cada alimento está compuesto por diferentes proporciones de macromoléculas, lo que influye en su contenido energético. En los resultados obtenidos, la menta liberó más energía que el maní; sin embargo, desde el punto de vista teórico, los alimentos ricos en lípidos, como el maní, deberían liberar mayor cantidad de energía debido a su mayor densidad energética. Esta diferencia sugiere que, aunque experimentalmente se encontró un resultado específico, la cantidad de energía liberada depende principalmente de la composición química del alimento, y los resultados pueden verse afectados por factores experimentales como la combustión incompleta o la pérdida de calor.

B

Nota. Extraído de las producciones de los estudiantes durante la fase de investigación

A. Segmento de informe de laboratorio entregado por los estudiantes en el marco de una práctica de calorimetría realizada en una sesión de implementación.

B. Segmento de informe de laboratorio entregado por los estudiantes en el marco de una práctica de calorimetría realizada en una sesión de implementación una vez realizada la retroalimentación correspondiente.

El Grupo 2, evidenció un progreso en lo relacionado con la organización de las variables y la transformación más profunda de los datos experimentales obtenidos en resultados calculados y comparados. Durante la primera evaluación, el grupo identificaba el tipo y la cantidad de alimento como variables independientes y el cambio de temperatura del agua como variable dependiente, pero presentaba una mayor dificultad al momento de explicar los valores obtenidos y, al contrario que el grupo 1, presentaba una dificultad en diferenciar las variables propias del experimento de las del fenómeno a investigar. La retroalimentación orientó al grupo a comparar explícitamente sus resultados con otras muestras e identificar patrones junto con la proposición de relacionar los cálculos obtenidos con los tipos de sustratos y su función energética dado el tipo de alimento del que procedieran. Alineada con lo propuesto por Kanari y Millar (2004), esta transición representa el paso de operar sobre los datos a utilizarlos para construir inferencias científicas. Por lo anterior, el desempeño de este grupo al finalizar la evaluación del desarrollo de esta competencia lo ubica cumpliendo el nivel satisfactorio de los criterios planteados en la rúbrica con ligeros grados de cumplimiento de algunos de los criterios del nivel sobresaliente.

Por parte del Grupo 3, a diferencia del primer momento en donde la ausencia de una producción evaluable no permitió establecer un nivel inicial de desempeño, en este segundo momento de evaluación se puede establecer que el grupo demostró habilidad para vincular los datos obtenidos en la práctica con la energía liberada y la composición de los alimentos que se usaron como muestra. Existen, no obstante dificultades para establecer relaciones completas entre la evidencia experimental y el metabolismo energético. El grupo cumple de manera parcial los criterios establecidos para el nivel satisfactorio de la rúbrica de evaluación, al carecer de conclusiones que apoyen los datos que exponen, además de una falta de relación entre los resultados de investigación y la hipótesis planteada finalmente, falta además una adecuada selección de los datos relevantes que apoyen su formulación inicial.

El Grupo 4 inicialmente había mostrado tendencia a confundir los datos experimentales con la explicación teórica, indicó que “al quemar el alimento debajo del recipiente con agua, la temperatura del agua aumenta de manera sostenida” y a

continuación explicó que el chicle liberaba mayor energía por contener lípidos, afirmación sustentada en los resultados extraídos del experimento. Esto carecía de una comparación experimental amplia que permitiera aproximar al grupo a los criterios sobresalientes, así como diferenciar con mayor claridad el resultado que se observa, como también derivar una inferencia adecuada y una explicación teórica que sustentara la relación propuesta de forma lógica. Para el momento final de evaluación de dicha competencia, el grupo avanza al proponer patrones como la importancia de la macromolécula principal que compone un alimento y explica que dicha importancia se debe a que cada una, al oxidarse, libera energía química, lo que tiene relación con el metabolismo. El grupo se ubica en el nivel satisfactorio de la rúbrica, a cabalidad, con una deficiencia en ampliar las posibles explicaciones de los patrones observados, así como también la baja relación entre las conclusiones y la hipótesis final formulada. De igual manera, el grupo reporta datos poco relevantes para responder su pregunta de investigación, como las diferencias de temperatura y no directamente la energía en forma de calor liberada.

Con la intención de analizar de forma más completa los resultados obtenidos y los análisis realizados por los diferentes grupos de estudiantes, se realizó un análisis estadístico descriptivo (Figura 20) a las notas de las producciones entregadas, el análisis revela una evolución positiva y una mayor homogeneización en los resultados de los grupos. El rendimiento pasó de puntajes bajos y altamente dispersos a evidencias de incrementos notables en los puntajes centralizados ($M=3,550$; $Me=3,750$), confirmando lo que se analizó de forma cualitativa con anterioridad, del mismo modo se presenta una reducción drástica en la variabilidad de las evaluaciones de los grupos, lo que como se explicó anteriormente ejemplifica el porque la mayoría de los estudiantes completa a cabalidad el nivel satisfactorio y se ubica parcialmente en el cumplimiento de los criterios del nivel sobresaliente, Los grupos de estudiantes mejoraron sustancialmente sus puntuaciones, consolidando un comportamiento académico mucho más uniforme y en un grado de desarrollo de la competencia favorable tras la implementación de esta investigación.

Figura 20

Análisis estadístico descriptivo SPSS para el primer y segundo momento de evaluación de la competencia de análisis e interpretación de los datos empíricos.

Descriptivos

			Estadístico	Error estándar
Análisis de datos Primer momento	Media		2,075	,5315
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,905	
		Límite superior	3,245	
	Media recortada al 5%		2,100	
	Mediana		3,300	
	Varianza		3,389	
	Desv. estándar		1,8410	
	Mínimo		,0	
	Máximo		3,7	
	Rango		3,7	
	Rango intercuartil		3,7	
	Asimetría		-,356	,637
	Curtosis		-2,242	1,232
Análisis de Datos Segundo Momento	Media		3,550	,1913
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,129	
		Límite superior	3,971	
	Media recortada al 5%		3,572	
	Mediana		3,750	
	Varianza		,439	
	Desv. estándar		,6626	
	Mínimo		2,5	
	Máximo		4,2	
	Rango		1,7	
	Rango intercuartil		1,3	
	Asimetría		-,972	,637
	Curtosis		-,605	1,232

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Para entender de mejor manera la magnitud del avance presentado por los estudiantes que se aprecia con la estadística descriptiva de los dos momentos, se procedió a verificar el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk aplicada a las diferencias entre ambas mediciones (Figura 21) para saber si era correcto analizar los resultados con una prueba paramétrica o no paramétrica. Los resultados muestran que la distribución de las diferencias se apartó significativamente de la normalidad ($p = .009$), ya

que el alfa convencional es de $p < ,05$, por esto, la hipótesis nula de normalidad se rechaza. Por esta razón se justifica metodológicamente el empleo de una prueba de los rangos con signo de Wilcoxon como la alternativa no paramétrica idónea para contrastar los dos momentos

Figura 21

Análisis estadístico de supuesto de normalidad SPSS para la diferencia entre el tercer y segundo momento de evaluación de análisis e interpretación de datos experimentales.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIF_ANALISIS	,294	12	,005	,797	12	,009

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos momentos de evaluación ($Z = -3.075$, $p = 0.002$), indicando que la retroalimentación realizada sobre los informes de laboratorio favoreció una mejora significativa en la competencia de análisis e interpretación de datos experimentales. Ya que el valor p es notablemente inferior al nivel de significancia establecido ($p < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula y se confirma que los cambios observados no se deben al azar (Figura 22.1). El tamaño del efecto calculado mediante el coeficiente r fue de 0,89 (por encima del umbral de 0,50), valor que corresponde a un efecto muy grande (Cohen, 1988), lo que evidencia que el cambio observado posee una alta relevancia desde el punto de vista educativo, como lo señala Louis Cohen y sus coautores (2018). Por tanto, para finalizar el análisis de esta competencia, se concluye que el desarrollo fue producto de la investigación implementada.

Figura 22

Análisis estadístico no paramétrico de rangos con signo de Wilcoxon para la diferencia entre el segundo y primer momento de evaluación de análisis e interpretación de datos experimentales.

Estadísticos de prueba^a

Analisis de
Datos
Segundo
Momento -
Analisis de
datos Primer
momento

Z	-3,075 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,002

a. Prueba de rangos con signo
de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

1.

$$2. \quad r = \frac{|Z|}{\sqrt{N}} = \frac{|-3,075|}{\sqrt{12}} = \frac{3,075}{3,464} = 0,89$$

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

1. *Prueba de rangos con signo de Wilcoxon*

2. *Calculo de tamaño de efecto mediante coeficiente r*

Los resultados estadísticos adquieren mayor significado al contrastarse con el análisis cualitativo de los informes elaborados por los estudiantes. El avance evidenciado se reflejó en el cumplimiento de un mayor número de criterios de la rúbrica, particularmente aquellos relacionados con la interpretación crítica de los datos, la organización de información y la relación entre resultados y conceptos teóricos abordados con anterioridad Sin embargo, el nivel de desarrollo sobresaliente de la competencia investigativa exigía además una comparación sistemática de los datos, una identificación de las posibles explicaciones y la formulación de conclusiones explícitamente relacionadas con la hipótesis final presentada en esta misma fase.

Finalmente y de manera complementaria, durante esta fase se realizó el primer momento de evaluación de la competencia investigativa de la capacidad de dar a conocer resultados de investigación, realizar informes, presentar hallazgos y construir conocimiento

que pueda resultar útil para otros, denominada como comunicación científica, tomando como evidencia los informes elaborados por los estudiantes a partir del laboratorio de calorimetría y la incorporación de un análisis antropométrico conjunto en donde se referenciara el metabolismo energético. El desempeño general del grupo en este primer momento de evaluación de la competencia presentó variabilidad. El Grupo 1 cumple parcialmente con los criterios relacionados con la integración de evidencias con conceptos, la regulación metacognitiva básica, la construcción autónoma de explicaciones y la articulación de los conocimientos trabajados durante la implementación. Se resalta que el grupo cumple a cabalidad el criterio relacionado con reconocer el alcance y limitación de sus explicaciones, algo que se evidencia cuando el grupo propone que existen posibilidades de mejora en el experimento realizado y al relacionar el conocimiento adquirido con las situaciones cotidianas, pero aun con este desempeño se establece que el nivel de desarrollo de la competencia se encuentra en un nivel satisfactorio, sin ingresar al nivel sobresaliente, esto a razón de que existe una deficiencia en la construcción de explicaciones coherentes que conecten de mejor manera lo microscópico con lo macroscópico, además el razonamiento que proponen no amplía de forma coherente como podría mejorarse el experimento planteado para reconocer de mejor manera el fenómeno que se pretende investigar.

El Grupo 2, mostró un desempeño relativamente más desarrollado. Cumple con el criterio relacionado con manifestar lo que piensa y por qué lo piensa, demostrando una regulación metacognitiva básica, mientras que al mismo tiempo relaciona las evidencias obtenidas con conceptos trabajados durante las sesiones, pero solo cumplió parcialmente los criterios de integración autónoma de los datos, conceptos y representaciones, así como la evaluación de la solidez de sus argumentos. Su principal aspecto a mejorar consistía en lo que señalan Hilario y Martínez (2020), quienes destacan que la argumentación científica requiere relacionar explícitamente los puntos de vista con las evidencias y bases teóricas, y no limitarse a solo presentar afirmaciones.

Una vez más el Grupo 3 no presenta una producción evaluable, por tanto, no es posible determinar el nivel de desarrollo de esta competencia investigativa para este grupo de alumnos. Al igual que en las competencias anteriores, esto no nos permite valorar el

desempeño, ya que se hace necesaria una producción susceptible de ser evaluada con la rúbrica para hablar del desarrollo de la competencia. Por esto, la situación no demuestra una ausencia de la capacidad cognitiva; el desarrollo de esta competencia se evaluaría en sesiones posteriores. Por último, el Grupo 4 cumple parcialmente los criterios del nivel satisfactorio de la rúbrica al integrar evidencias diferentes para sustentar sus conclusiones, el grupo demuestra una regulación metacognitiva y la construcción autónoma de explicaciones, sin cumplir al mismo tiempo los criterios de solidez de los argumentos, la articulación profunda de los conocimientos y una presentación científica de los resultados obtenidos. La observación que presentan de que “fallo la explicación científica en el material” muestra que el grupo puede concebir limitaciones de sus experimentos y expresar relaciones entre datos y conceptos, sin embargo, no podía expresar algunas de estas relaciones entre datos y conceptos de una forma argumentativa científicamente con una estructura suficientemente desarrollada. En este sentido, la diferencia entre una explicación cotidiana y una explicación científica reside precisamente en la relación entre el punto de vista, la base teórica y la evidencia que se presenta (Yun et al., 2015).

Para esta competencia, el primer momento de evaluación a las producciones realizadas se sometió a un análisis estadístico descriptivo (Figura 23) cuyas puntuaciones obtenidas evidenciaron una media de 2.00 puntos (SD = 1.79). Los resultados muestran una alta variabilidad en el desempeño de los grupos, lo que sugiere que, mientras algunos lograron comunicar sus resultados de manera relativamente organizada y fundamentada, otros aún presentaban dificultades importantes para estructurar un informe científico acorde con los criterios establecidos en la rúbrica de evaluación. El resultado observado constituye una línea base para interpretar los cambios que se evidenciarán posteriormente al haber entregado la retroalimentación a los informes anteriormente analizados.

Figura 23

Análisis estadístico descriptivo para el primer momento de evaluación de la competencia de comunicación científica.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
Comunicación científica primer momento	12	,0	3,8	2,000	1,7909
N válido (por lista)	12				

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

En esta última competencia evaluada, durante esta fase de la implementación, el desempeño de los estudiantes inicialmente se ubica en el nivel satisfactorio sin contar al grupo en ausencia de producción evaluable. Los estudiantes mostraron mayores fortalezas en la organización de la información y la expresión de algunas ideas, pero con dificultades claras en la integración autónoma de evidencia y teoría, la evaluación de la solidez de los argumentos y la presentación científica de resultados. Por tanto, la principal distancia respecto al nivel sobresaliente se encontraba en la construcción de explicaciones científicas complejas, completas y justificadas.

Desde una perspectiva pedagógica, los resultados muestran que la fase de conclusión permitió observar una integración, apropiación y un desarrollo claro en las competencias investigativas. El avance en la formulación de hipótesis indica que la retroalimentación no solo corrigió errores formales que se encontraban en cada evaluación, sino que consistió en una herramienta importante pedagógicamente hablando que ayudó a los estudiantes de los diferentes grupos a reorganizar sus explicaciones y convertir ideas generales en proposiciones susceptibles a ser contrastadas. Es importante resaltar que el desarrollo de esta competencia no se logró en un nivel sobresaliente de forma completa por parte de los grupos que participaron en la investigación. En el análisis e interpretación de datos empíricos, se demuestra que el trabajo experimental adquirió un mayor valor cognitivo cuando los estudiantes comenzaron a utilizar los resultados para explicar y evaluar sus hipótesis y conocimientos previos. El desarrollo de esta competencia, el cual se evaluó solo en dos ocasiones, se ubica en un nivel sobresaliente, aunque no cumplido a cabalidad, a excepción de un único grupo que se ubicó en un desarrollo satisfactorio. En general esta fase de conclusión evidenció transformaciones desde las ideas iniciales y las formas de razonamiento de los estudiantes que en un inicio se caracterizaban por

formulaciones en forma de afirmaciones generales, de descripción de datos y presentación de resultados, hacia formas progresivamente más próximas a las prácticas científicas e investigativas. Los estudiantes finalizaron una formulación de hipótesis delimitadas, un uso de los datos como evidencias y un reconocimiento de que las conclusiones en ciencias deben considerar tanto los resultados obtenidos en comparación con la teoría disponible como los límites de las explicaciones y los experimentos que se realizan al investigar. La proyección del proceso muestra que, una vez finalizado el desarrollo de dos de las tres competencias a investigar, aún era necesario fortalecer la operacionalización de variables, la construcción de conclusiones directamente sustentadas en datos y la integración autónoma de evidencia, conceptos y argumentos. Por tanto, esta fase se puede considerar la más rica en datos útiles para analizar la contribución al nivel de desarrollo de las competencias investigativas.

7.8. Fase de Discusión

Como cierre del ciclo del IBL, los estudiantes elaboraron, a modo de producto final, una presentación (Figura 24), destinada a comunicar los resultados del aprendizaje construido durante la implementación, la cual, en conjunción con la corrección de su entrega anterior, integró el cierre de la implementación. Los productos realizados por los estudiantes integraron los resultados de su práctica de calorimetría con los conceptos abordados sobre macromoléculas, y el desempeño físico en función de la antropometría y el metabolismo energético. Con lo anterior, la fase de discusión constituyó el segundo y tercer momento de evaluación de la competencia de comunicación científica y permitió valorar el desempeño alcanzado por los alumnos tras el proceso de retroalimentación en el desarrollo de la competencia investigativa en cuestión.

Figura 24

Sesión de discusión



Nota. Fotografías tomadas por los autores durante la implementación.

A & B. Sustentaciones finales del ciclo del IBL por parte de los estudiantes participantes.

El análisis del desarrollo de esta competencia investigativa se desarrolla considerando el progreso en tres momentos de evaluación concretos. En el primer momento, evaluado en la fase anterior, los estudiantes presentaron un informe de laboratorio en donde se apreciaban dificultades para integrar datos, conceptos y explicaciones científicas. En el segundo momento, los alumnos debían presentar las correcciones a dicho informe en donde aplicarían la retroalimentación dada con anterioridad. Esta retroalimentación favoreció una mejora en la organización de la información, la interpretación de los resultados y la construcción de conclusiones. Para el último momento de análisis de esta competencia, los productos de las actividades realizadas debían condensarse a modo de una comunicación oral y visual que permitiera evidenciar si

los avances evaluados en las fases anteriores se consolidaban en una producción científica más autónoma, articulada y de fácil comunicación a los demás compañeros y docentes en formación. Este enfoque resultó coherente con la comprensión de la comunicación científica como una práctica que no se limita a la mera transmisión de los conocimientos y la información, sino que implica construir significado, justificar afirmaciones y hacer comprensible el conocimiento científico para determinadas audiencias (Norris & Phillips, 2003).

De forma general, las entregas de los alumnos mostraron un avance respecto al cumplimiento de los criterios que se presentaron en el primer momento de evaluación de esta competencia. Inicialmente predominaban los informes en los que los estudiantes describían procedimientos y resultados sin establecer conexiones lo suficientemente desarrolladas entre la evidencia y las explicaciones, en los productos finales se observó una mejoría en la integración de los aprendizajes construidos a lo largo de la implementación como se puede apreciar en la Figura 25. Los estudiantes incorporaron representaciones gráficas, conceptos relacionados con la energía obtenida de diferentes alimentos y explicaciones sobre el metabolismo energético al desarrollar actividad física, además de proponer metodologías concretas para exponer los resultados a sus compañeros. Es de resaltar que el desarrollo de esta competencia no fue homogéneo. Algunos grupos lograron construir explicaciones más complejas y reconocer limitaciones experimentales que otros grupos mantuvieron dificultades para proponer argumentos científicos con suficiente profundidad. La heterogeneidad revela que comunicar ciencia es una competencia que requiere coordinar diferentes dimensiones de la práctica investigativa, como: seleccionar información, organizarla, relacionarla con la evidencia que se obtiene de la experimentación y la construcción de explicaciones adaptadas a determinadas audiencias. En este sentido, la alfabetización científica no puede reducirse a la posesión de conceptos, sino que abarca la utilización del lenguaje y las representaciones científicas para construir y comunicar el conocimiento (Norris & Phillips, 2003).

Figura 25

Ejemplos representativos de las transiciones de los discursos de los estudiantes al comunicar conclusiones de su práctica de laboratorio

Hola experimento permitió determinar. Que el chicle contiene energía química que se libera en forma de calor al combustionar. el aumento de temperatura del agua confirma la transferencia de energía. Aunque el valor obtenido es aproximado, demuestra el principio de conservación de la energía.

A

Podemos determinar que El aumento de temperatura del calorímetro confirma la transferencia de energía. Aunque el experimento permitió determinar que el chicle contiene energía química que se libera en forma de calor al combustionar. El aumento de temperatura del agua Confirma la transferencia de energía del chicle lo cual explica como se obtiene y se utiliza la energía adentro del organismo teniendo en cuenta que en la composición del chicle contiene carbohidratos y lípidos. Estos nutrientes se degradan y son utilizados para obtener energía y producir ATP mediante las rutas metabólicas, lo cual se relaciona con la energía que necesita el cuerpo cuando realiza actividad física.

B

Nota. Extraído de las producciones de los estudiantes durante la fase de discusión

A. Segmento de informe de laboratorio entregado por los estudiantes en el marco de una práctica de calorimetría realizada en una sesión de implementación.

B. Segmento de informe de laboratorio entregado por los estudiantes en el marco de una práctica de calorimetría realizada en una sesión de implementación una vez realizada la retroalimentación correspondiente.

A modo de ejemplo de lo anteriormente mencionado, el Grupo 1 cumplía parcialmente los criterios relacionados con la integración de las evidencias y conceptos, la construcción de explicaciones y la articulación de los conocimientos abordados. Su principal fortaleza se encontraba en que reconocía los alcances y limitaciones de sus explicaciones. En la segunda instancia de evaluación, el grupo avanzó a proponer una conclusión en la que relacionaba la energía de los alimentos con sus composiciones en carbohidratos, lípidos y proteínas, y reconocía posibles fuentes de error experimental, como la pérdida de calor y la posible combustión incompleta. Este avance muestra una mayor integración entre evidencias y conceptos teóricos, aunque aún requiere fortalecer la construcción de explicaciones autónomas y una mayor evaluación de sus argumentos. El Grupo 2 que inicialmente presentaba como principal aspecto a favor su capacidad de expresar lo que pensaban y justificaban por qué lo pensaban, evidenciando de esta manera una regulación metacognitiva básica. El cumplimiento parcial de los criterios relacionados

con la integración autónoma de los datos, conceptos y representaciones, así como la carencia de una evaluación robusta de la solidez de sus argumentos no les permitieron ubicarse más alto en los niveles de desarrollo de la competencia. En el segundo momento el grupo produjo una conclusión donde reconoce que la alimentación y el ejercicio podían influir en la eficiencia energética, pero también señaló que no se habían evaluado variables como la fatiga. La siguiente afirmación “la práctica permitió comprender la relación entre nutrición y energía, pero también la necesidad de medir más factores” muestra que el grupo avanzó en el reconocimiento de los límites de las actividades investigativas realizadas. Por lo anterior, el grupo se consolida de mejor manera en el nivel sobresaliente de desarrollo de la competencia, aunque no lo cumple en su totalidad.

El Grupo 3, una vez más no hace entrega de una producción que permita establecer un nivel de desarrollo de la competencia investigativa. Esta situación impidió valorar el desempeño del grupo en los dos primeros momentos de evaluación; por tanto, no es posible valorar si hay un desarrollo o no de la competencia por falta de evidencias disponible y susceptibles de medición con el instrumento evaluativo diseñado para este proceso. En relación con el Grupo 4 que inicialmente relacionaba de forma parcial los datos con conceptos y representaciones, no evidenciaron suficientemente su razonamiento ni tampoco evaluaban la solidez de sus argumentos. Adicionalmente habían señalado que “falló la explicación científica en el material”, lo que evidenciaba una dificultad para convertir relaciones entre datos y ahondar en conceptos a modo de una explicación más argumentada. Por parte del segundo momento, los estudiantes presentan una conclusión que afirma que el experimento permitía determinar la energía química contenida en un alimento a partir de su liberación de energía en forma de calor y que el aumento de temperatura se confirmaba al medir la transferencia de energía. Esta nueva formulación muestra un avance en la relación entre observación y explicación, aunque aun manteniéndose general, careciendo de esta manera de una evaluación real de sus conclusiones y una integración autónoma de conceptos con sus representaciones macroscópicas y microscópicas, ubicándolos de esta manera apenas cumpliendo los requerimientos del nivel de desarrollo satisfactorio de esta competencia.

Con el fin de evaluar el progreso de la competencia de comunicación científica entre el primer y el segundo momento de evaluación, inicialmente se realizó un análisis estadístico descriptivo (Figura 26) de las puntuaciones obtenidas por los estudiantes, considerando medidas de tendencia central y dispersión, si bien existe un avance en el puntaje medio ($M=2,208$) junto a un desplazamiento positivo de la mediana ($Me=3,600$) la dispersión de los datos se elevó ($SD=1,9538$), lo cual indica que al contrario que como pasó con otras competencias esta se comportó de manera más heterogénea a medida de se pasó de un primer a un segundo momento de evaluación, aumentando de esta manera las brechas internas entre los estudiantes al referirse al desarrollo de la competencia.

Figura 26

Análisis estadístico descriptivo para el primer y segundo momento de evaluación de la competencia de comunicación científica.

Descriptivos

			Estadístico	Error estándar
Comunicación científica primer momento	Media		2,000	,5170
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,862	
		Límite superior	3,138	
	Media recortada al 5%		2,011	
	Mediana		3,000	
	Varianza		3,207	
	Desv. estándar		1,7909	
	Mínimo		,0	
	Máximo		3,8	
	Rango		3,8	
	Rango intercuartil		3,7	
	Asimetría		-,296	,637
	Curtosis		-2,190	1,232
Comunicación científica segundo momento	Media		2,208	,5640
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,967	
		Límite superior	3,450	
	Media recortada al 5%		2,237	
	Mediana		3,600	
	Varianza		3,817	
	Desv. estándar		1,9538	
	Mínimo		,0	
	Máximo		3,9	
	Rango		3,9	
	Rango intercuartil		3,9	
	Asimetría		-,374	,637
	Curtosis		-2,252	1,232

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Este análisis permitió identificar una primera aproximación al comportamiento de los datos y establecer la tendencia general del desempeño de los participantes después de la primera retroalimentación. Posteriormente, para determinar la viabilidad de usar estadística paramétrica o no paramétrica, se analizó el supuesto de normalidad mediante una prueba Shapiro-Wilk (Figura 27) a las diferencias de las puntuaciones obtenidas por los estudiantes.

Figura 27

Análisis estadístico de supuesto de normalidad para la diferencia entre el segundo y primer momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIF_COMUNICACION	,328	12	<,001	,762	12	,004

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Los resultados del análisis arrojan un estadístico de 0,762 con un valor de significancia de $p = 0,004$. Al ser este valor marcadamente inferior al límite del alfa convencional ($p < 0,05$), se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo con total certeza que los datos no presentan distribución normal. En consecuencia, y siguiendo las recomendaciones metodológicas de Field (2018), la comparación entre ambos momentos se realizó mediante la prueba no paramétrica de los rangos con signos de Wilcoxon (Figura 28.1) para una adecuada interpretación de si el incremento observado es estadísticamente significativo.

Figura 28

Análisis estadístico no paramétrico para la competencia de comunicación científica entre el momento 2 y el momento 1

Estadísticos de prueba^a

	Comunicación científica segundo momento - Comunicación científica primer momento
Z	-2,401 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,016

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

1.

$$2. \quad r = \frac{|Z|}{\sqrt{N}} = \frac{|-2,401|}{\sqrt{12}} \frac{2,401}{3,464} = 0,693$$

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

1. *Prueba de rangos con signo de Wilcoxon*

2. *Calculo de tamaño de efecto mediante coeficiente*

La prueba demostró la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la competencia de comunicación científica para los primeros momentos de evaluación. Debido a que el valor de p es menor que el alfa estándar ($p < 0,05$), se confirma que la mejoría que se observó en los resultados y se analizó con anterioridad no es producto del azar. Adicionalmente, el cálculo de la magnitud del efecto mediante el coeficiente $r=0,693$ (Figura 28.2) clasifica como un tamaño del efecto grande, aunque no tanto como en las competencias analizadas anteriormente; esto, al superar la barrera del 0,50. Por lo anterior, se valida que la implementación tuvo hasta el momento un cambio de impacto alto en el aprendizaje y desarrollo de los estudiantes de esta competencia.

Antes de concluir el estado final de desarrollo de la competencia investigativa, se evaluaron las presentaciones de los estudiantes en las que debían concluir y reflexionar sobre sus procesos investigativos. En este último momento de evaluación, el Grupo 1 muestra una consolidación de los avances anteriormente mencionados. Si bien su

presentación se limitó a un carácter declarativo, afirman a modo de conclusión que los resultados permitieron reconocer “diferencias en la cantidad de energía liberada por las muestras analizadas”, relacionando estas diferencias con las funciones de las macromoléculas como “fuente inmediata o como reserva energética”. Adicionalmente el grupo reconoció que los resultados experimentales “no coinciden completamente con lo esperado desde la teoría” y propuso que como explicaciones plausibles haya una “pérdida de calor en la lata o una combustión incompleta de los alimentos utilizados” Esto demuestra un grado de avance de resaltar en comparación al primer momento, ya que el grupo no se limita una vez más a presentar conclusiones, sino que utiliza los resultados obtenidos para construir explicaciones posibles, reconocer discrepancias y valorar posibles limitaciones tanto a nivel químico como macroscópico.

La observación anterior corresponde a un desarrollo sobresaliente de la competencia de comunicación científica, en la que la evidencia no aparece solo como información aislada, sino que hace parte de la fundamentación de una explicación amplia. Desde la perspectiva de Erduran y Jiménez-Aleixandre (2008), la argumentación en ciencias requiere de una articulación de afirmaciones, evidencias y justificaciones, de modo que la calidad de una explicación dependa de la relación que se establece entre los elementos. El grupo 1 avanzó hasta finalizar en una dirección que cumple en mayor medida los criterios sobresalientes de la rúbrica de evaluación, es importante recalcar que no se cumple a completitud, sino que se puede fortalecer la justificación de porque cada posible error experimental habría afectado de una u otra manera los resultados obtenidos.

Para el Grupo 2 en este último momento de evaluación, se apreció una consolidación en su capacidad de reflexionar acerca de su proceso investigativo. El grupo afirma que el conocimiento científico “no solo se basa en la teoría sino también en una adecuada experimentación y el análisis crítico de los resultados”. El grupo, además, relaciona conceptos como la respiración celular y la producción de ATP con situaciones reales como la alimentación y el rendimiento físico. La presentación elaborada por este grupo muestra un uso adecuado de gráficas en busca de ampliar el alcance de la comunicación científica, pues el grupo no solo comunica los resultados de su proceso de investigación, sino que reflexiona sobre este y la naturaleza del conocimiento científico que

se origina al investigar y las posibles aplicaciones que este tenga. Esta capacidad de reconocer que los resultados no necesariamente conforman completamente una explicación inicial demuestra que el grupo presenta una forma de pensamiento crítico más reflexivo, próxima a lo que Av-Shalom et al., (2019) describen como procesos metacognitivos vinculados con la evaluación de las propias ideas y argumentos.

El Grupo 3 presenta una conclusión oral ante los demás grupos, donde los estudiantes demuestran que pueden hacer una relación entre las evidencias que obtuvieron en las diferentes actividades y los procesos que se llevan a cabo en el metabolismo energético del cuerpo una vez se realiza actividad física. El grupo, además, manifiesta procesos de regulación metacognitiva básica al responder preguntas durante la sustentación de sus resultados. A pesar de esto, el grupo logra cumplir parcialmente los criterios del nivel satisfactorio de la rúbrica y no se acerca tampoco a los criterios del nivel sobresaliente al no integrar de mejor manera los datos obtenidos con relaciones en torno a la composición corporal o al origen y estructura de las macromoléculas. De igual manera es importante resaltar que este resultado obtenido al analizar el desarrollo de la competencia por parte de este grupo, debe interpretarse con precaución, ya que la ausencia de producciones evaluables en los momentos anteriores implica que no se puede tener una continuidad en el análisis del desarrollo de esta competencia.

El Grupo 4 por su parte, en este último momento de evaluación, muestra que las retroalimentaciones realizadas favorecieron la organización de los componentes de la comunicación científica al presentar un poster de divulgación científica, si bien este material se encontró algo limitado permitió hacer un análisis adecuado, ya que se aprecia como persisten las fortalezas anteriormente enunciadas pero continúan dificultades para construir una explicación suficientemente desarrollada al sustentar sus resultados con el grupo y los docentes en formación. En términos de Kelly y Takao (2002), una comunicación científica de mayor complejidad requiere no solo presentar información, sino construir niveles de razonamiento en los que los datos sean útiles para sustentar afirmaciones y establecer explicaciones relacionales. En este caso, el grupo logra avanzar en la selección de la información y en la organización de una propuesta de comunicación, pero debe fortalecer la justificación científica de las relaciones que pretende comunicar,

ubicándose de manera final en el nivel sobresaliente de la rúbrica, cumpliendo algunos de los criterios parcialmente.

Con el propósito de determinar si las mejoras observadas en la competencia de comunicación científica continuaron entre el segundo y el tercer momento de evaluación, se realizó un análisis estadístico descriptivo de las puntuaciones obtenidas por los estudiantes (Figura 29), permitiendo identificar una tendencia general en el comportamiento del desempeño durante ambas evaluaciones. Al pasar del segundo al tercer momento de evaluación, se aprecia un incremento sustancial en el rendimiento de los estudiantes, con un promedio general de $M=3,950$. En comparación con el momento anterior, el grupo se estabiliza sustancialmente; la desviación estándar disminuye en gran medida hasta un valor de 0,3802, demostrando de forma cuantitativa que el estímulo aplicado logró reducir en gran medida las brechas internas analizadas anteriormente.

Figura 29

Análisis estadístico descriptivo para el segundo y tercer momento de evaluación de la competencia de comunicación científica.

Descriptivos

			Estadístico	Error estándar
Comunicación científica segundo momento	Media		2,208	,5640
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,967	
		Límite superior	3,450	
	Media recortada al 5%		2,237	
	Mediana		3,600	
	Varianza		3,817	
	Desv. estándar		1,9538	
	Mínimo		,0	
	Máximo		3,9	
	Rango		3,9	
	Rango intercuartil		3,9	
	Asimetría		-,374	,637
	Curtosis		-2,252	1,232
Comunicación científica tercer momento	Media		3,950	,1098
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,708	
		Límite superior	4,192	
	Media recortada al 5%		3,944	
	Mediana		3,900	
	Varianza		,145	
	Desv. estándar		,3802	
	Mínimo		3,5	
	Máximo		4,5	
	Rango		1,0	
	Rango intercuartil		,8	
	Asimetría		,429	,637
	Curtosis		-1,024	1,232

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

Con el análisis anterior se procedió a decidir si era adecuado usar estadística paramétrica o no paramétrica en el contraste del segundo y tercer momento de evaluación de esta competencia, se analizó el supuesto de normalidad sobre la diferencia de las puntuaciones. Se adoptó el criterio de la prueba Shapiro-Wilk (Figura 30), la cual arrojó un estadístico de ,723 con un valor de significancia de $p = 0,001$. Ese valor se comprende en un límite inferior al alfa convencional ($p < 0,05$); se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos, una vez más, no cuentan con un comportamiento distributivo normal. Por

esto se descarta el uso de una prueba T de Student y se justifica que se pueda usar una prueba de los rangos con signo de Wilcoxon como la alternativa no paramétrica idónea para determinar el tamaño del impacto de esta implementación.

Figura 30

Análisis estadístico de supuesto de normalidad para la diferencia entre el tercer y segundo momento de evaluación de la competencia de formulación de hipótesis.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIF_COMUNICACION_2	,337	12	<,001	,723	12	,001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

La prueba de rangos con signo de Wilcoxon (Figura 31 1.) permite apreciar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la competencia de comunicación científica entre el segundo y el tercer momento de evaluación. Ya que se presenta un p valor inferior al alfa establecido para esta prueba ($p < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula, confirmando así que la evolución positiva del grupo no se dio por cuenta del azar. Asimismo se procedió a calcular el tamaño del efecto con el coeficiente r (Figura 31.2), el cual obtuvo una magnitud de 0,89, esto declara que de acuerdo con los criterios establecidos por Cohen (1988) el resultado del desarrollo de esta competencia se puede clasificar como un tamaño de efecto considerablemente grande, lo cual valida de manera cuantitativa que los análisis realizados con anterioridad se obtuvieron un resultado positivo ya que la implementación del ciclo del IBL tuvo una alta relevancia en los estudiantes que participaron en la investigación.

Figura 31

Análisis estadístico no paramétrico para la competencia de comunicación científica entre el momento 3 y el momento 2

Estadísticos de prueba^a

Comunicación
científica tercer
momento -
Comunicación
científica
segundo
momento

Z	-3,075 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,002

a. Prueba de rangos con signo
de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

1.

2.
$$r = \frac{|Z|}{\sqrt{N}} = \frac{|-3,075|}{\sqrt{12}} = \frac{3,075}{3,464} = 0,89$$

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante IBM SPSS

1. *Prueba de rangos con signo de Wilcoxon,*

2. *Calculo de tamaño de efecto mediante coeficiente*

En síntesis, hubo una progresión general desde una comunicación que se centraba en la presentación de resultados hacia una comunicación en la que se incorpora con mayor frecuencia la interpretación, reflexión y reconocimiento de las limitaciones. Los grupos avanzaron en su mayoría hasta un nivel sobresaliente de desarrollo de la competencia al organizar la información de mejor manera, relacionar conceptos y resultados e identificar posibles errores experimentales durante los procesos investigativos. No obstante, para finalizar con el desarrollo de esta competencia, en donde la gran mayoría de los grupos se ubicó en un nivel sobresaliente, se recalca que la principal dificultad fue la construcción de argumentos científicos completamente desarrollados que evalúen incluso sus propias limitaciones. En varias de las producciones que elaboraron los estudiantes afirmaron que los fenómenos ocurrían, pero no siempre explicaron con suficiente consistencia utilizando

algunos datos que permitían sostener dicha afirmación. Existieron además dificultades para integrar de forma autónoma las representaciones macroscópicas, los conceptos teóricos abordados durante las sesiones y las explicaciones relacionadas con los procesos metabólicos al realizar actividad física o en función de la composición corporal.

Esta dificultad, que se confirma tanto cuantitativa como cualitativamente al no completar a cabalidad el nivel sobresaliente por parte de ninguno de los grupos investigados, resalta la importancia de la comunicación científica más allá de la simple transmisión de los resultados para llegar a explicaciones que puedan ser comprendidas, evaluadas, discutidas y útiles para otros. Como lo plantea Lemke (1990), aprender ciencia implica también aprender a utilizar lenguaje especializado para establecer relaciones entre fenómenos, conceptos y evidencias. Desde esta postura, el proceso de los estudiantes evidencia avances en la apropiación del lenguaje científico, aunque todavía era necesario fortalecer su uso argumentativo. Esta fase final del IBL permitió además que los estudiantes asumieran una posición activa frente a la comunicación de los conocimientos que recién adquirirían. La selección de presentaciones orales, gráficas y otros apoyos visuales les exigió tomar decisiones sobre qué tipo de información comunicar y cómo hacerlo, como organizarla y que relaciones se debían establecer entre los resultados experimentales y los conceptos científicos. Esta etapa del proceso además fortaleció la dimensión metacognitiva de la competencia, ya que los estudiantes debieron hacer procesos de reflexión sobre lo que habían aprendido e investigado y sobre cómo comunicarlo a otros.

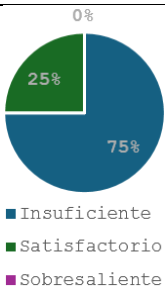
Para finalizar el desarrollo de esta competencia, se evidencia que la implementación del ciclo del IBL con ayuda de una cartilla didáctica favoreció una transformación progresiva en la manera en la que los estudiantes construyeron y comunicaron investigación en ciencias. El resultado final no se limita a que los estudiantes hayan aprendido y cumplido criterios, sino que se amplía a que los participantes de la investigación comenzaron a comprender que comunicar ciencias implica explicar, justificar, reconocer límites, relacionar evidencias con teoría y hacer que el conocimiento construido pueda ser comprendido y utilizado por otros.

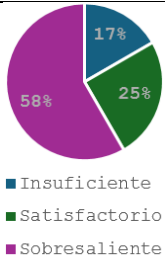
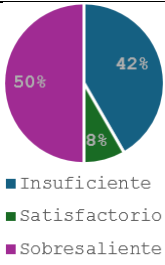
7.9. Síntesis de resultados

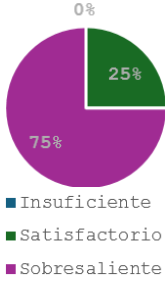
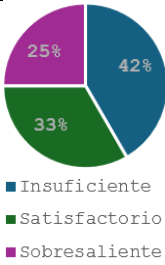
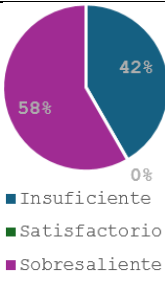
A modo de síntesis de los resultados analizados anteriormente se elabora la Tabla 6, la cual tiene como objetivo sintetizar los principales hallazgos del análisis de resultados, integrando las evidencias de las producciones de los estudiantes, la valoración de los criterios establecidos en la rúbrica y los resultados del análisis estadístico. Esta síntesis responde al carácter mixto de la investigación, pues permite contrastar las transformaciones identificadas cualitativamente en las producciones con la evolución de las puntuaciones obtenidas en los diferentes momentos de evaluación. En este sentido, la evidencia cualitativa permite reconocer las características de los cambios, las fortalezas alcanzadas y las dificultades que permanecen en cada competencia, mientras que la valoración mediante la rúbrica permite establecer el grado de cumplimiento de los criterios definidos para los niveles insuficiente, satisfactorio y sobresaliente. Los resultados estadísticos, a su vez, permiten determinar si las variaciones observadas entre los momentos de evaluación presentan significancia estadística y determinar la magnitud del cambio. De este modo, la triangulación de estas fuentes permite superar una lectura aislada de los resultados y construir una interpretación conjunta del desarrollo de las competencias investigativas a lo largo de la implementación.

Tabla 6

Triangulación del análisis de los resultados para las tres competencias investigativas evaluadas durante la implementación en los diferentes momentos de evaluación

Competencia	Síntesis cualitativa	Criterios de la rúbrica	Nivel de desempeño grupal *	Estadística
Formulación de hipótesis M1	Los estudiantes relacionan conceptos de metabolismo energético, pero tienen dificultades para construir proposiciones científicas. G1 establece una relación causal entre ausencia de carbohidratos y utilización de lípidos; G2 describe funciones de macromoléculas sin formular una proposición contrastable; G3 no	Insuficiente– Satisfactorio. Se evidencian parcialmente relaciones causales e identificación de variables, pero no se cumplen consistentemente	 0% 25% 75% ■ Insuficiente ■ Satisfactorio ■ Sobresaliente	M = 0.808; DE = 0.748; N = 12; rango = 0–1.7.

	presenta producción evaluable; G4 identifica variables, pero combina pregunta, explicación y conclusión anticipada.	claridad, delimitación, operacionalización y contrastabilidad.		
Formulación de hipótesis M2	Las reformulaciones muestran una mayor estructura causal y una mayor delimitación. Se ve un tránsito hacia hipótesis más estructuradas, pero persisten los problemas para llevar a la práctica las variables y fijar indicadores observables.	Satisfactorio, con aproximaciones parciales al Sobresaliente. Se fortalecen relación causal, delimitación y contrastabilidad, pero no se consolidan completamente operacionalización e indicadores.	 ■ Insuficiente ■ Satisfactorio ■ Sobresaliente	$M1 \rightarrow M2$ $t(11) = -7.914$; $p < .001$; $d = 2.29$.
Formulación de hipótesis M3	Las hipótesis finales presentan relaciones causales y temporales más claras. El grupo G3 alcanza completamente el nivel satisfactorio. El grupo G4 mejora la delimitación. Los otros grupos muestran una mayor articulación entre las variables y el fenómeno. Sin embargo, persisten dificultades para operacionalizar los conceptos.	Satisfactorio, con criterios del Sobresaliente parcialmente alcanzados. La principal dificultad continúa siendo convertir variables y consecuencias en indicadores medibles.	 ■ Insuficiente ■ Satisfactorio ■ Sobresaliente	$M2 \rightarrow M3$ $Z = -3.074$; $p = .002$; $r = .89$.
Análisis e interpretación de datos M1	Los estudiantes pueden registrar y describir la información. También pueden reconocer algunas conexiones entre los datos y la pregunta. Sin embargo, tienen problemas para elegir la información correcta, organizarla y compararla de manera sistemática. Además, les cuesta trabajo llegar a conclusiones bien fundamentadas con la evidencia que tienen.	Principalmente Satisfactorio. Se cumplen criterios asociados con identificación y organización de información y relaciones iniciales entre datos y pregunta; no se consolidan comparación	 ■ Insuficiente ■ Satisfactorio ■ Sobresaliente	$M = 2.08$; $DE = 1.84$.

		sistemática ni conclusiones plenamente fundamentadas.		
Análisis e interpretación de datos M2	Los informes muestran mayor interpretación crítica, organización de información y relación entre resultados y conceptos teóricos. Sin embargo, continúan dificultades para comparar sistemáticamente los datos, identificar posibles explicaciones y relacionar explícitamente las conclusiones con la hipótesis.	Satisfactorio consolidado, con criterios del Sobresaliente parcialmente alcanzados. Se fortalecen interpretación, organización y relación evidencia-concepto, pero no se completa el conjunto de criterios superiores.	 0% 25% 75% ■ Insuficiente ■ Satisfactorio ■ Sobresaliente	Shapiro-Wilk $p = .009$; Wilcoxon $Z = -3.075$; $p = .002$; $r = .89$.
Comunicación científica M1	Los informes muestran resultados muy diferentes. El grupo G1 combina algunas pruebas y conceptos, y reconoce lo que no puede hacer. El grupo G2 muestra que puede controlar su propio aprendizaje y relacionar pruebas con conceptos, pero no puede hacerlo de manera independiente. El grupo G3 no tiene nada que pueda ser evaluado. El grupo G4 combina pruebas y reconoce lo que no puede hacer, aunque sus argumentos no están muy desarrollados.	Satisfactorio parcial. Se cumplen algunos criterios de integración de evidencia, regulación metacognitiva y construcción de explicaciones, pero existen dificultades en articulación conceptual, solidez argumentativa y presentación científica.	 25% 42% 33% ■ Insuficiente ■ Satisfactorio ■ Sobresaliente	$M = 2.00$; $DE = 1.79$.
Comunicación científica M2	Los informes muestran más organización. También hay una mejor conexión entre los resultados y los conceptos. Se nota que se reconocen los errores y las limitaciones de los experimentos. Hay un mayor uso de evidencia y explicaciones. Sin	Satisfactorio, con avances hacia Sobresaliente en algunos criterios, especialmente integración de evidencia, reflexión y	 42% 58% 0% ■ Insuficiente ■ Satisfactorio ■ Sobresaliente	$M1 \rightarrow M2$: $Z = -2.401$; $p = .016$; $r = .69$.

	embargo, aún hay problemas con la forma de argumentar.	articulación conceptual.		
Comunicación científica M3	Las presentaciones finales incluyen representaciones gráficas, resultados experimentales, conceptos sobre energía y metabolismo y explicaciones dirigidas a una audiencia. El grupo G2 muestra una mayor reflexión cuando reconoce que el conocimiento científico necesita experimentación y análisis crítico. Por otro lado, el grupo G3 logra relacionar la evidencia con el metabolismo. El grupo G4 mejora la organización de sus presentaciones, aunque todavía tiene dificultades para profundizar en los argumentos.	Sobresaliente, aunque no se cumplen completamente todos los criterios. Se fortalecen integración de evidencias, construcción de explicaciones y articulación conceptual; permanecen dificultades en profundidad argumentativa y evaluación de la solidez de los argumentos.	 0% 100% ■ Insuficiente ■ Satisfactorio ■ Sobresaliente	M = 3.950; DE = 0.3802. Shapiro-Wilk p = .001. r = 0,89

Nota. Elaboración propia a partir de los análisis de resultados expuestos

* El porcentaje de estudiantes ubicados en cada nivel de desempeño corresponde a quienes por las notas alcanzadas en su grupo a partir del cumplimiento de los criterios de la rúbrica se ubican en dicho nivel, mas no indica que se cumplan a totalidad los criterios establecidos en los diferentes niveles de desarrollo.

Es importante precisar que los resultados obtenidos permiten establecer tendencias respecto al desarrollo de las competencias investigativas a nivel grupal, pero no permiten afirmar que todos los estudiantes hayan alcanzado individualmente el mismo nivel de desempeño. Si bien en la mayoría de los grupos y momentos de evaluación se identificó un desempeño correspondiente al nivel sobresaliente de acuerdo con los criterios establecidos en las rúbricas, las actividades desarrolladas fueron realizadas principalmente mediante dinámicas de trabajo colaborativo. En consecuencia, las producciones analizadas representan, en buena medida, un desempeño construido colectivamente y no necesariamente el dominio individual de cada participante de las diferentes competencias. Esta característica metodológica implica que los avances identificados deben interpretarse como evidencia del desarrollo de las competencias dentro de los grupos participantes, sin extrapolarlos de manera directa al desarrollo individual de cada estudiante. Por tanto, aunque los resultados permiten reconocer una tendencia favorable en el desarrollo de las

competencias investigativas a lo largo de la implementación, se requiere cautela al atribuir dichos niveles de desempeño a cada estudiante de manera independiente. Se recomienda en una posible y futura implementación analizar el desarrollo de las competencias de manera individual en cada uno de los participantes de la investigación.

7. Conclusiones

La presente investigación fomentó el desarrollo de competencias investigativas relacionadas con la formulación de hipótesis, el análisis e interpretación de datos empíricos y la comunicación científica en estudiantes del espacio electivo Bioquímica, salud y ejercicio. Esto se hizo mediante una propuesta didáctica basada en estudios de caso, relacionados con el metabolismo energético y siguiendo los principios del Aprendizaje Basado en la Indagación (IBL). El enfoque mixto, entendido como la integración entre el análisis cualitativo y el cuantitativo, permitió el seguimiento de los cambios observados, no solo desde el punto de vista estadístico, sino también desde la construcción, aplicación y comunicación del conocimiento científico.

Durante este proceso se evidenció que los estudiantes tenían ideas variadas sobre el metabolismo energético y un nivel bajo en el desarrollo de competencias investigativas. Aunque los estudiantes podían relacionar algunos conceptos con la actividad física, sus hipótesis tenían problemas para definirse claramente y contrastarse. El análisis de datos se centraba en describir lo que pasaba, y la comunicación científica priorizaba mostrar procedimientos en lugar de construir argumentos basados en evidencia. Este diagnóstico sirvió para crear una base inicial que guió el diseño de las actividades y mostró la necesidad de mejorar el razonamiento científico mediante procesos sistemáticos de indagación y retroalimentación.

En relación con el segundo objetivo específico, la creación de una guía didáctica basada en estudios de caso y alineada con las etapas del Aprendizaje Basado en la Indagación resultó útil. Esta guía ayudó a integrar el conocimiento teórico con las prácticas de investigación. La forma en que se organizaron las actividades permitió que los estudiantes avanzaran desde entender conceptos básicos de metabolismo energético hasta formular explicaciones, analizar evidencia y comunicar resultados. La retroalimentación

constante ayudó a revisar, reconstruir y mejorar sus trabajos, haciendo que la evaluación fuera parte del proceso de aprendizaje.

En cuanto al tercer objetivo específico, la evaluación continua mostró que las tres competencias investigativas (formulación de hipótesis, el análisis e interpretación de datos empíricos y la comunicación científica) se desarrollaron progresivamente, aunque con distintos grados. La formulación de hipótesis pasó de afirmaciones generales y poco contrastables a proposiciones con relaciones causales más claras, mayor definición de variables y una estructura lógica que se puede probar con evidencia empírica. Sin embargo, el análisis cualitativo señaló que la mayoría de los grupos aún tenían que mejorar en la definición de variables y en cómo medirlas. Por lo tanto, el nivel alcanzado se puede considerar alto, con avances significativos hacia un desempeño muy bueno, aunque aún faltaban algunos aspectos por consolidar.

La competencia de análisis e interpretación de datos empíricos fue la que más se desarrolló. Los estudiantes pasaron de tratar la información de forma descriptiva a usar los datos como evidencia para apoyar explicaciones y probar sus hipótesis. La retroalimentación mejoró su organización de la información, su capacidad para identificar patrones y su interpretación crítica de los resultados. Esto ayudó a usar la evidencia experimental de manera más consciente para construir explicaciones científicas. En general, esta competencia alcanzó un nivel muy bueno, aunque algunos grupos aún tenían que mejorar en comparar resultados de forma sistemática y en hacer conclusiones que estuvieran completamente alineadas con sus hipótesis.

En cuanto a la comunicación científica, hubo un progreso desde informes que solo describían lo que se hizo hacia trabajos que incluían resultados experimentales, gráficos, conceptos teóricos y reflexiones sobre el proceso. Al final, los estudiantes mostraron una mejor capacidad para comunicar conocimiento de manera organizada y basada en evidencia, reconociendo las limitaciones de sus explicaciones. Sin embargo, aún tenían dificultades para construir argumentos autónomos, integrar los niveles macroscópico y microscópico de las explicaciones y justificar todas sus afirmaciones con suficiente evidencia. Por lo tanto, esta competencia llegó a un nivel satisfactorio cercano al muy

bueno, con una evolución importante, pero con espacio para mejorar con procesos más prolongados de indagación.

En general, los resultados muestran que el desarrollo de las competencias investigativas fue un proceso progresivo y conectado, donde cada competencia ayudó a mejorar la siguiente. La formulación de hipótesis dio las primeras explicaciones que podían contrastarse; el análisis de datos convirtió los resultados en evidencia; y la comunicación integró ambos procesos con argumentos y explicaciones para otros. Esta progresión demuestra que las competencias no se desarrollan de forma separada, sino como prácticas interrelacionadas que se fortalecen cuando los estudiantes participan en procesos continuos de indagación, experimentación, argumentación y reflexión sobre su aprendizaje.

Finalmente, la investigación demuestra que una propuesta didáctica basada en estudios de caso abordando el metabolismo energético es una buena estrategia para desarrollar competencias investigativas en estudiantes universitarios. Sin embargo, los resultados también muestran que, para alcanzar niveles muy buenos, se necesitan procesos más largos, que permitan mejorar la definición de variables, la construcción de argumentos basados en evidencia y la integración autónoma entre datos, teoría y comunicación. En este sentido, los hallazgos obtenidos son un punto de partida para futuras investigaciones que busquen diseñar propuestas didácticas que fomenten el desarrollo progresivo del pensamiento investigativo en la enseñanza de las ciencias.

8.1. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos durante la implementación de la propuesta didáctica y del análisis del desarrollo de las competencias investigativas en las diferentes fases del ciclo de Aprendizaje Basado en la Indagación (IBL), se plantean las siguientes recomendaciones para futuras implementaciones. Estas se construyen considerando tanto las fortalezas evidenciadas en el proceso como las dificultades que persistieron en los estudiantes, con el propósito de favorecer una aplicación más progresiva, articulada y autónoma del ciclo de indagación:

Ampliar el tiempo destinado al desarrollo del ciclo IBL. Se recomienda que futuras implementaciones se utilice un periodo de aplicación más prolongado, especialmente

cuando los estudiantes no poseen una formación disciplinar cercana a la química. En la presente experiencia, la fase de conceptualización requirió un tiempo significativo debido a la necesidad de fortalecer conocimientos relacionados con las macromoléculas, las rutas metabólicas, la antropometría y la ergoespirometría antes de abordar el trabajo experimental. Asimismo, los resultados finales evidenciaron que, aunque las tres competencias investigativas presentaron avances, todavía era necesario fortalecer la definición de variables, la construcción de argumentos sustentados en evidencia y la integración autónoma entre datos, teoría y comunicación. Por ello, se recomienda disponer de mayor tiempo entre las fases de orientación, conceptualización, investigación, conclusión y discusión, permitiendo que los estudiantes revisen y reconstruyan sus elaboraciones en más de una oportunidad.

Mejorar la definición de las variables desde la fase de orientación. La formulación de hipótesis conforme uno de los principales retos identificados. Aunque los estudiantes lograron avanzar desde afirmaciones generales hacia proposiciones con relaciones causales más claras, persistieron dificultades para definir cómo serían observadas o medidas las variables involucradas. Por esta razón, se recomienda que la fase de orientación incorpore actividades específicas de identificación, clasificación, definición y medición de las variables antes de solicitar la formulación definitiva de las hipótesis. Una estrategia pertinente sería presentar ejemplos de fenómenos relacionados con el metabolismo energético y solicitar a los estudiantes que identifiquen la variable independiente, las variables dependientes, las condiciones de control y los indicadores mediante los cuales podrían ser medidas. Esto permitiría que la hipótesis no se limite a establecer una relación causal, sino que desde el inicio pueda ser comprobada mediante evidencia experimental.

Mantener la retroalimentación como un componente transversal del ciclo de indagación. Una de las fortalezas más evidentes de la implementación fue el efecto de la retroalimentación sobre los trabajos elaborados por los estudiantes. Las discusiones grupales y la retroalimentación docente permitieron identificar inconsistencias, reformular relaciones causales y precisar las variables involucradas. Posteriormente, la revisión de las producciones favoreció el refinamiento progresivo de las hipótesis. De igual manera, en los informes científicos la retroalimentación permitió mejorar la organización de la

información, la interpretación de resultados y la construcción de conclusiones. En consecuencia, se recomienda que la retroalimentación no se concentre exclusivamente al finalizar una actividad, sino que se incorpore como mecanismo permanente de regulación durante todas las fases del IBL, procurando que los estudiantes utilicen las observaciones recibidas para modificar y justificar sus decisiones.

Convertir la conceptualización en un proceso más activo y articulado con la investigación. La fase de conceptualización fue fundamental para proporcionar los conocimientos necesarios para interpretar posteriormente los fenómenos estudiados y las evidencias experimentales. Sin embargo, debido a su extensión, existe el riesgo de que esta etapa se aproxime a una enseñanza convencional si se centra en la explicación de contenidos. La propia propuesta reconoce que, dentro del IBL, la conceptualización debe proporcionar fundamentos desde los cuales los estudiantes puedan formular preguntas, hipótesis y orientar sus investigaciones. Por ello, se recomienda vincular cada concepto trabajado con preguntas, predicciones o pequeñas situaciones problemáticas que posteriormente puedan ser retomadas en la fase de investigación. En el caso del metabolismo energético, por ejemplo, los conceptos sobre macromoléculas, rutas metabólicas y biomarcadores ergoespirométricos podrían introducirse siempre mediante situaciones que anticipen la interpretación de los datos que posteriormente serán obtenidos.

Promover actividades que permitan interpretar los datos como evidencia científica. El análisis e interpretación de datos fue la competencia que presentó el mayor desarrollo durante la implementación. Los estudiantes pasaron de realizar descripciones de la información a utilizar los datos como evidencia para sustentar las explicaciones y contrastar sus hipótesis. No obstante, algunos grupos todavía presentaron dificultades para realizar comparaciones sistemáticas y establecer conclusiones completamente relacionadas con las hipótesis. Por ello, se recomienda incorporar actividades intermedias de análisis de datos antes de solicitar la elaboración del informe final. Estas actividades podrían incluir la identificación de patrones, comparación entre resultados, interpretación de gráficas, elaboración de explicaciones a partir de datos y preguntas orientadoras como: ¿qué muestran los datos?, ¿qué relación tienen con la hipótesis?, ¿qué evidencia permite aceptarla o cuestionarla?, ¿qué explicación alternativa podría existir? Esto permitiría

avanzar progresivamente desde la descripción de resultados hacia su interpretación científica.

Reforzar la conexión entre hipótesis, resultados y conclusiones. Los resultados muestran que una de las dificultades que permaneció al finalizar el proceso fue la construcción de conclusiones directamente sustentadas en los datos y relacionadas explícitamente con la hipótesis final. Por tanto, se recomienda que durante la fase de conclusión se utilice una estructura orientadora que obligue a establecer una relación explícita entre hipótesis, evidencia, interpretación y conclusión. Esta estrategia podría implementarse mediante una matriz de análisis o un organizador gráfico incluido directamente en la cartilla. De esta manera, el estudiante tendría que señalar qué datos respaldan su conclusión, qué concepto científico permite interpretarlos y en qué medida dichos resultados permiten apoyar, rechazar o modificar la hipótesis planteada.

Desarrollar la comunicación científica de manera progresiva y no únicamente como producto final. La comunicación científica mostró una evolución importante: los estudiantes pasaron de informes predominantemente descriptivos a productos que incorporaron resultados experimentales, representaciones gráficas, conceptos teóricos y reflexiones sobre el proceso. Sin embargo, persistieron dificultades relacionadas con la construcción autónoma de argumentos, la integración de los niveles macroscópico y microscópico y la justificación de las afirmaciones mediante evidencia suficiente. Por ello, se recomienda que la comunicación científica sea trabajada desde las primeras fases del ciclo y no solamente durante la discusión final. Los estudiantes podrían realizar pequeñas comunicaciones parciales de sus hipótesis, resultados y explicaciones, utilizando diferentes formatos como esquemas, gráficas comentadas, exposiciones orales y presentaciones científicas. Esto permitiría que la comunicación se consolide progresivamente como una práctica investigativa.

Consolidar la relación entre los niveles macroscópico, microscópico y simbólico. Dado que una de las dificultades identificadas en la comunicación científica fue integrar los niveles macroscópico y microscópico de las explicaciones, se recomienda fortalecer explícitamente esta relación durante las actividades. En el contexto de la propuesta, los fenómenos observables durante el ejercicio, los datos obtenidos mediante calorimetría,

antropometría o ergoespirometría y las explicaciones relacionadas con las rutas metabólicas pueden utilizarse de manera articulada. Esto permitiría que los estudiantes no solamente describan lo que ocurre a nivel observable, sino que puedan explicar dichos fenómenos mediante procesos bioquímicos y representaciones científicas.

Conservar el estudio de caso como eje articulador de la propuesta. Los estudios de caso constituyeron un recurso pertinente para relacionar el metabolismo energético con situaciones concretas de ejercicio, rendimiento y características fisiológicas. La propuesta permitió integrar los resultados de la calorimetría con conceptos relacionados con las macromoléculas, la antropometría y el metabolismo energético en los productos finales de los estudiantes. Por ello, se recomienda mantener este componente en futuras implementaciones, procurando que los casos planteen problemas suficientemente delimitados para que puedan ser investigados experimentalmente y, al mismo tiempo, permitan que los estudiantes establezcan relaciones entre el conocimiento disciplinar y situaciones reales.

Utilizar la cartilla como mediadora del proceso y no únicamente como fuente de información. La cartilla didáctica demostró ser un recurso que puede acompañar las diferentes etapas de la implementación y permitir trabajar contenidos relacionados con macromoléculas, antropometría, rutas metabólicas, biomarcadores y estudios de caso. En futuras versiones se recomienda fortalecer su carácter interactivo mediante espacios destinados específicamente a la formulación y reformulación de hipótesis, identificación de variables, registro de datos, construcción de gráficas, interpretación de evidencias y elaboración de conclusiones. De esta manera, el recurso podría convertirse en una herramienta que acompañe la totalidad del ciclo IBL y que permita evidenciar la evolución del estudiante durante el proceso.

Reconocer la variabilidad de los estudiantes desde el inicio al momento de planificar la implementación. Los resultados evidenciaron diferentes niveles de desarrollo inicial de las competencias investigativas. Particularmente en la formulación de hipótesis, algunos grupos presentaron relaciones causales mientras otros formularon explicaciones generales o incluso producciones que no podían ser evaluadas como hipótesis. En consecuencia, se recomienda realizar una actividad diagnóstica al comienzo del proceso

que permita identificar no solamente los conocimientos disciplinares, sino también las habilidades de argumentación, interpretación de datos y comunicación científica. A partir de este diagnóstico, podrían establecerse apoyos diferenciados para los grupos que presenten mayores dificultades, evitando asumir que todos los estudiantes poseen las mismas condiciones de partida.

Prolongar los ciclos de revisión y reformulación de los trabajos. Finalmente, se recomienda conservar y ampliar la dinámica de producción, retroalimentación, revisión y nueva producción que se desarrolló durante la experiencia. Los resultados muestran que esta dinámica contribuyó a que los estudiantes reorganizaran sus explicaciones y avanzaran hacia formas de razonamiento más próximas a las prácticas científicas. En este sentido, futuras implementaciones podrían incorporar al menos dos ciclos de revisión para cada competencia investigativa, de manera que los estudiantes tengan la oportunidad de identificar sus propias dificultades, modificar sus producciones y justificar los cambios realizados. Esto sería particularmente importante para consolidar los aspectos que aún no alcanzaron un nivel muy bueno, como la operacionalización de variables, la integración autónoma de evidencia y teoría y la construcción de argumentos científicos.

9. Bibliografía

- Amaya, A. (2018). Diseño de una unidad didáctica enfocada al estudio del metabolismo del ejercicio a partir de la caracterización bioquímica de estudiantes de Licenciatura en Deportes de la UPN. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/10827>
- American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- Arena, R., Myers, J., Aslam, S. S., Varughese, E. B., & Peberdy, M. A. (2007). Peak VO₂ and VE/VCO₂ slope in patients with heart failure: A prognostic classification. *Circulation*, 115(18), 2410–2417. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.686576>
- APTA Vital Sport. (2023). Umbrales ventilatorios VT1 y VT2: Definición y aplicaciones. APTA Vital Sport. <https://aptavs.com/articulos/umbrales-ventilatorios>
- Av-Shalom, N. Y., Zimmerman, R. M., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2019). Analysis of different categories of epistemic and metacognitive discourse in

argumentation. *Studia Paedagogica*, 24(4), 101–123.

<https://doi.org/10.5817/SP2019-4-5>

- Baranauskas, M., Kupčiūnaitė, I., Lieponienė, J., & Stukas, R. (2024). Desarrollo del somatotipo dominante en relación con la composición corporal y la ingesta de macronutrientes dietéticos en atletas de alto rendimiento en deportes acuáticos, ciclismo y combate. *Nutrients*, 16(10), 1493. <https://doi.org/10.3390/nu16101493>
- Bean, A. (2017). La guía completa de la nutrición del deportista. Editorial Paidotribo. <https://paidotribo.com/products/guia-completa-de-la-nutricion-del-deportista-la-nueva-edicion-bicolor>
- Berenguel, A. (2020). Ergoespiometría. Sociedad Española de Rehabilitación Cardio-Respiratoria. https://aula.campuspanamericana.com/_Cursos/Curso01623/Temario/MRehab_Cardiaca/M1T6Texto.pdf
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347–364. <https://doi.org/10.1007/BF00138871>
- Biolaster. (2024). Integración metabólica: Integración de los sistemas energéticos. <https://www.biolaster.com/rendimiento-deportivo/metabolismo-energetico/integracion-metabolica/>
- Bunge, M. (1967). *Scientific research: Strategy and philosophy*. Springer. <https://link.springer.com/book/9783642481376>
- Bunge, M. (2004). *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía* (3.^a ed.). Siglo XXI Editores. https://books.google.com.co/books/about/La_investigaci%C3%B3n_cient%C3%A9fica.html?id=iDjRhR82JHYC
- Campos, L. C. (2024). Enseñanza de competencias investigadoras en educadores, mediada por la tecnología en educación superior. *Revista de Investigación en Educación*, 22(2). <https://doi.org/10.35869/reined.v22i2.5381>
- Carter, J. E. L., & Heath, B. H. (1990). *Somatotyping: Development and applications*. Cambridge University Press. <https://archive.org/details/somatotypingdeve0000cart>
- Castro, N. E. (2020). Guía cartilla didáctica. Universidad Popular del Cesar. <https://www.scribd.com/document/633291149/Guia-CARTILLA-DIDACTICA>
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218. <https://doi.org/10.1002/sce.10001>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates. <https://www.routledge.com/Statistical-Power-Analysis-for-the-Behavioral-Sciences-2nd-Edition/Cohen/p/book/9780805802832>

- Creswell, J. W. (2014). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (4th ed.). SAGE Publications.
https://books.google.com.co/books/about/Research_Design.html?id=4uB76IC_pOQC
- Díaz Barriga, F., & Hernández, G. (2010). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: Una interpretación constructivista (3.ª ed.). McGraw-Hill.
<https://www.scribd.com/document/355608094/Diaz-Barriga-Estrategias-Docentes-Para-Un-Aprendizaje-Significativo>
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Ennis, R. H. (2011). The nature of critical thinking: An outline of critical thinking dispositions and abilities. University of Illinois.
https://archive.org/details/thenatureofcriticalthinking_51711_000
- Field, A. (2018). Discovering statistics using IBM SPSS Statistics (5th ed.). SAGE Publications.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3504991>
- Fundación contra la Hipertensión Pulmonar. (2018). La ergoespiometría: Protocolo e interpretación (1.ª ed.). Fundación contra la Hipertensión Pulmonar.
<https://www.fchp.es/wp-content/uploads/2018/11/la-ergoespiometria.pdf>
- Giraldo, J., & Nieto, C. (2016). Sistemas energéticos en el ejercicio. Universidad Tecnológica de Pereira.
<https://academia.utp.edu.co/basicasyaplicadas/files/2012/04/1.-SISTEMAS-ENERGETICOS-EN-EL-EJERCICIO-JCGT-CENG.pdf>
- Gómez-Cantarino, S., Cámara-Cabrera, J. M., & González-Cutre, D. (2013). Un acercamiento a los métodos mixtos de investigación en educación física. *Investigación en Educación Médica*, 2(12), 1–9.
<https://riem.facmed.unam.mx/index.php/riem/article/view/418>
- González-Gross, M. (2001). La nutrición en la práctica deportiva: Adaptación de recomendaciones nutricionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(4), 321–331. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000400001
- Guillamón, A. R. (2015). Metabolismo energético y actividad física. *EFDeportes.com, Revista Digital*, 20(206).
<http://www.efdeportes.com/efd206/metabolismo-energetico.html>
- Hernández-Vicente, P. O. (2019). Función y clasificación de las macromoléculas. *Con-Ciencia Serrana*, (2), 12–14.

<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/download/4383/6144/>

- Hilario, J., & Martínez, K. (2020). Implementación de habilidades de argumentación y modelaje en las clases de química del bachillerato. *Educación Química*, 31(2), 51–59. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.2.69287>
- Ilarraza, L. (2011). Prueba de ejercicio con análisis de gases espirados. *Archivos de Cardiología de México*, 82(2), 139–150. <https://www.scielo.org.mx/pdf/acm/v82n2/v82n2a13.pdf>
- Indeportes Antioquia. (2022). Control biomédico del entrenamiento deportivo. Indeportes Antioquia. https://indeportesantioquia.gov.co/wp-content/uploads/2022/09/control_biomedico_repositorio_compressed.pdf
- International Society for the Advancement of Kinanthropometry. (2019). International standards for anthropometric assessment. ISAK. <https://isak.global/>
- International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). (2001). International standards for anthropometric assessment. ISAK. <https://www.scribd.com/document/296981564/ISAK-2001-X-1>
- IBM Corp. (2023). IBM SPSS Statistics for Windows (Version 29.0) [Computer software]. IBM Corporation. <https://www.ibm.com/support/pages/release-notes-ibm%C2%AE-spss%C2%AE-statistics-29>
- Joshi, K. P., Suhasini, P., Swaroopachary, R., Yamini, D., & Sarma, D. V. H. S. (2017). An effective approach in learning clinical biochemistry: Case based learning. *Journal of Education Technology in Health Sciences*, 4(2), 62–64. <https://doi.org/10.18231/2393-8005.2017.0015>
- Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in scientific investigations. *International Journal of Science Education*, 26(9), 1099–1120. <https://doi.org/10.1002/tea.20020>
- Kelly, G. J., & Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314–342. <https://doi.org/10.1002/sce.10024>
- Kerr, D. A. (1988). An introduction to anthropometry. Human Kinetics Publishers. https://books.google.com.co/books/about/Anthropometric_Standardization_Reference.html?id=DZ53AAAACAAJ
- Kuckartz, U. (2014). Qualitative text analysis: A guide to methods, practice and using software. SAGE Publications. <https://methods.sagepub.com/book/mono/qualitative-text-analysis/toc>
- Kulak, V., & Newton, G. (2014). A guide to using case-based learning in biochemistry education. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 42(6), 457–473. <https://doi.org/10.1002/bmb.20823>

- Kuhn, D. (2010). Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 94(5), 810–824. <https://doi.org/10.1002/sce.20395>
- Lawson, A. E. (2003). The nature and development of hypothetic-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1387–1408. <https://doi.org/10.1080/0950069032000052117>
- Lawson, A. E. (2004). The nature and development of scientific reasoning: A synthetic view. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(3), 307–338. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-6488-0>
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Ablex Publishing. <https://www.bloomsbury.com/us/talking-science-9780893915650/>
- López Chicharro, J. (2006). Actualizaciones en fisiología del ejercicio. Centro Médico ATP. <https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM002428.pdf>
- Lucumí Moreno, A. (2017). Retos en la enseñanza de la biología molecular y la bioquímica en las carreras del área de la salud. *Revista Boletín Redipe*, 6(8), 20–28. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/338>
- Macedo, D. V., & Ide, B. N. (2025). Educational strategies for teaching metabolic profiles across three endurance training zones. *Advances in Physiology Education*, 49(6), 331–337. <https://doi.org/10.1152/advan.00094.2024>
- Macedo, L. dos S., Verli, M., Neto, A. M. de M., & Gonçalves, L. C. O. (2024). Uso da ergoespirometria no treinamento e na saúde: revisão narrativa. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 29(312), 204–214. <https://doi.org/10.46642/efd.v29i312.7042>
- Manrique Orozco, A. M., & Gallego Henao, A. M. (2013). El material didáctico para la construcción de aprendizajes significativos. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 4(1), 101–108. <https://revistas.ucatolicaluisamigo.edu.co/index.php/RCCS/article/view/952>
- Martín, L. (2017). *Metabolismo muscular en el ejercicio* (Trabajo de fin de grado). Universidad de Salamanca. <https://gredos.usal.es/handle/10366/133415>
- Maughan, R., & Gleeson, M. (2004). *The biochemical basis of sports performance*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199208289.001.0001>
- Mieg, H. A. (Ed.). (2019). *Inquiry-based learning: Undergraduate research. The German multidisciplinary experience*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14223-0>
- Millar, R., & Osborne, J. (Eds.). (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. King's College London. <https://www.nuffieldfoundation.org/wp-content/uploads/2015/11/Beyond-2000.pdf>

- Moreno-Pesquera, P. M., Varela-Tapia, C. L., Hernández-Amaro, H., & Martínez-Barro, D. (2022). Actividad física, perfil bioquímico y somatométrico de médicos residentes durante la pandemia por COVID-19. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 60(4), 418–425. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=104523>
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2013). *Lehninger: Principles of biochemistry* (6th ed.). W. H. Freeman and Co. [https://openlibrary.org/works/OL16811235W/Lehninger Principles of Biochemistry](https://openlibrary.org/works/OL16811235W/Lehninger_Principles_of_Biochemistry)
- Norton, K., & Olds, T. (1996). *Anthropometrica: A textbook of body measurement for sports and health courses*. University of New South Wales Press. <https://openlibrary.org/works/OL18255443W/Anthropometrica>
- Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203862001>
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). *The theory underlying concept maps and how to construct and use them* (Technical Report IHMC CmapTools). Institute for Human and Machine Cognition. <https://cmap.ihmc.us/docs/theory-of-concept-maps.php>
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. National Academy Press. <https://www.nationalacademies.org/read/13165/chapter/1>
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. National Academies Press. <https://www.nationalacademies.org/read/9596>
- National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Organización Mundial de la Salud. (2024). Índice de masa corporal. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463–466. <https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994–1020. <https://doi.org/10.1002/tea.20035>
- Paul, R., & Elder, L. (2008). *The miniature guide to critical thinking: Concepts and tools*. Foundation for Critical Thinking. <https://www.bloomsbury.com/us/minature-guide-to-critical-thinking-concepts-and-tools-9781538134955/>

- Paul, R., & Elder, L. (2014). Critical thinking: Tools for taking charge of your professional and personal life (2nd ed.). Pearson.
<https://doi.org/10.4324/9780133115697>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Qiu, H., Liu, J., Liu, Z., & Zhang, J. (2023). Research advances in the application of metabolomics in exercise science. *Frontiers in Physiology*, 14, 1332104.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1332104>
- Ramírez Hoffmann, H. (2002). Acondicionamiento físico y estilos de vida saludable. *Colombia Médica*, 33(1), 3–5. <https://doi.org/10.25100/cm.v33i1.211>
- Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española (23.^a ed.). Real Academia Española. <https://dle.rae.es>
- Rodríguez, F. J., Almagià, A. A., Yuing, T., Binvignat, O., & Lizana, P. (2010). Composición corporal y somatotipo referencial de sujetos físicamente activos. *International Journal of Morphology*, 28(4), 1159–1165.
<https://doi.org/10.4067/S0717-95022010000400020>
- Rojas López, D. A., & Barreto, J. W. (2014). Más allá del cannabis: ¡Un problema en contexto! Unidad didáctica para la enseñanza y aprendizaje del sistema nervioso para la prevención del consumo de sustancias psicoactivas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/items/54dbbf65-66f9-407c-8108-85e745861215>
- Ross, W. D. (1998). Anthropometry in sport and physical activity. En K. Norton & T. Eston (Eds.), *Kinanthropometry and exercise physiology* (pp. xx–xx). Routledge.
<https://www.routledge.com/Kinanthropometry-and-Exercise-Physiology/Norton-Eston/p/book/9781138230514>
- Rousseau, M. L., Polo, M. G., & Velázquez, O. O. (2004). Los materiales didácticos y su influencia en el aprendizaje. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6126878>
- Salame, I. I., Abid, M., & Simms, S. (2022). Examining some of the challenges that students face in learning about metabolic pathways in a traditional biochemistry course. *International Journal of Instruction*, 15(4), 277–292. <https://e-iji.net/ats/index.php/pub/article/view/262>
- San Millán, I., & Brooks, G. A. (2017). Assessment of metabolic flexibility by means of measuring blood lactate, fat, and carbohydrate oxidation responses to exercise in professional endurance athletes and less-fit individuals. *Sports Medicine*, 48(2), 467–479. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0751-x>

- Santana Vega, L. E., Suárez Perdomo, A., & Feliciano García, L. (2020). El aprendizaje basado en la investigación en el contexto universitario: Una revisión sistemática. *Revista Española de Pedagogía*, 78(277), 5–25.
<https://reunir.unir.net/handle/123456789/11814>
- Serafin, Č., Dostál, J., & Havelka, M. (2015). Inquiry-based instruction in the context of constructivism. *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, 186, 592–599.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.050>
- Schneider, R., & Wildt, J. (2009). Forschendes Lernen und Kompetenzentwicklung. En L. Huber, J. Hellmer, & F. Schneider (Eds.), *Forschendes Lernen im Studium: Aktuelle Konzepte und Erfahrungen* (2.^a ed., pp. 53–68). UniversitätsVerlagWebler.
<https://www.universitaetsverlagwebler.de/huber-2009>
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. SAGE Publications.
https://openlibrary.org/works/OL3744799W/The_art_of_case_study_research
- Stake, R. E. (2005). Qualitative case studies. En N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The SAGE handbook of qualitative research* (3rd ed., pp. 443–466). SAGE Publications.
https://openlibrary.org/works/OL3744799W/The_art_of_case_study_research
- Stokes, T., Héctor, A. J., Morton, R. W., McGlory, C., & Phillips, S. M. (2018). Recent perspectives regarding the role of dietary protein for the promotion of muscle hypertrophy with resistance exercise training. *Nutrients*, 10(2), 180.
<https://doi.org/10.3390/nu10020180>
- Tapullima-Mori, C., Pizzán-Villanueva, S. D., Pizzán-Tomanguillo, N. E., & Villanueva-Batallanos, M. (2025). Competencias investigativas en educación superior: Fundamentos y desarrollo. Editorial Académica Española.
<https://revistahorizontes.org/index.php/revistahorizontes/article/view/2047>
- Tejero Corrales, J. L. (2021). *Combustibles metabólicos y actividad física*. Instituto de Estudios Universitarios, Universidad de Sevilla.
<https://idus.us.es/items/99885cc9-2058-4473-ac32-66527e8f7683>
- Tiidus, P. M., MacPherson, R. E. K., LeBlanc, P. J., & Josse, A. R. (Eds.). (2021). *The Routledge handbook on biochemistry of exercise*. Routledge.
<https://www.routledge.com/The-Routledge-Handbook-on-Biochemistry-of-Exercise/Tiidus-MacPherson-LeBlanc-Josse/p/book/9780367223830>
- Torres, O. J. (2018). Análisis del material educativo de deporte aplicado en los centros penitenciarios y carcelarios de Colombia (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/9643>
- Trujillo Rodríguez, A. V. (2020). Vías metabólicas y entrenamiento deportivo. *Revista Cubana de Medicina del Deporte y la Cultura Física*, 7(2).
<https://revmedep.sld.cu/index.php/medep/article/view/257>

- Complutense de Madrid. (2015). Electrocardiografía básica. Universidad Complutense de Madrid. <https://medicina.ucm.es/data/cont/media/www/pag-17227/Electrocardiograf%C3%ADa%20B%C3%A1sica.pdf>
- Urdampilleta, A. (2012). Necesidades proteicas de los deportistas y pautas dietéticas generales. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética, 16(4), 273–280. <https://renhyd.org/renhyd/article/view/103>
- Vasilachis de Gialdino, I. (Coord.). (2006). Estrategias de investigación cualitativa. Gedisa. <https://biblioteca.unm.edu.ar/bib/5717>
- Villafañe, S. M., Minderhout, V., Heyen, B. J., Lewis, J. E., Manley, A., Murray, T. A., Tienson-Tseng, H., & Loertscher, J. (2021). Design and implementation of a tool to assess students' understanding of metabolic pathway dynamics and regulation. CBE—Life Sciences Education, 20(3), ar35. <https://doi.org/10.1187/cbe.20-04-0078>
- Vivagym. (2025). ¿Qué son los macronutrientes y cómo afectan tu rendimiento deportivo? Vivagym. <https://www.vivagym.com/es-es/que-son-los-macronutrientes-y-como-afectan-tu-rendimiento-deportivo>
- Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., Stringer, W. W., Whipp, B. J., & Casaburi, R. (2012). Principles of exercise testing and interpretation (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins. <https://archive.org/details/principlesofexer0003unse>
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications. https://books.google.com.co/books/about/Case_Study_Research_and_Applications.html?id=6DwmDwAAQBAJ
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. Developmental Review, 27(2), 172–223. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.12.001>

10. Anexos

Los anexos enunciados a lo largo de este documento se adjuntan a continuación en orden de aparición en el cuerpo del mismo.

10.1. Anexo N°1 Consentimiento Informado

10.2. Anexo N°2 Material didáctico diseñado y utilizado: Cartilla didáctica: Las rutas de la energía, explorando el metabolismo desde la química, el cuerpo y el ejercicio

10.3. Anexo N°3 Formato hoja de cálculo Excel Proforma Antropometría