



MATEMÁTICAS Y FÍSICA

Integradas desde el Enfoque



Estrategias para Desarrollar Competencias
Científicas, Tecnológicas y de Ingeniería

MSc. Feijoo Mendieta David Antonio
MSc. Haro Iza Maria Dolores
MSc. Gamboy Troya Gonzalo Elito
MSc. Calero Campoverde Alicia Verónica





Matemáticas y Física Integradas desde el Enfoque STEAM

*Estrategias para desarrollar competencias científicas,
tecnológicas y de ingeniería*

Autores:

MSc. Feijoo Mendieta David Antonio

MSc. Haro Iza Maria Dolores

MSc. Gamboy Troya Gonzalo Elito

MSc. Calero Campoverde Alicia Verónica



Datos bibliográficos:

ISBN:	978-9942-575-61-6
Título del libro:	Matemáticas y Física Integradas desde el Enfoque STEAM: Estrategias para Desarrollar Competencias Científicas, Tecnológicas y de Ingeniería
Autores:	Haro Iza, María Dolores Feijoo Mendieta, David Antonio Gamboy Troya, Gonzalo Elito Calero Campoverde, Alicia Verónica
Editorial:	Páginas Brillantes Ecuador
Materia:	Matemáticas
Público objetivo:	Profesional / académico
Publicado:	2026-09-14
Número de edición:	1
Tamaño:	8Mb
Soporte:	Digital
Formato:	Pdf (.pdf)
Idioma:	Español

Datos autores

MSc. Feijoo Mendieta David Antonio, PhD(c).

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0893-0291>

Máster en Educación. Doctorando en la Universidad de Panamá.

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, Colegio de Bachillerato “Daniel Córdova Toral”

Correo: david.feijoo@docentes.educacion.edu.ec

Ecuador, Azuay, Cuenca.

MSc. Haro Iza María Dolores

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4304-1464>

Máster en Educación Básica.

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, Unidad Educativa Pedro Carbo

Correo: mariad.haro@educacion.gob.ec

Ecuador, Bolívar, Guaranda.

MSc. Gamboy Troya Gonzalo Elito

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0895-2451>

Magíster en Educación, mención en Pedagogía.

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, Unidad Educativa “Primero de Abril”, área de Física y Matemática

Correo: gonzalo.gamboy@educacion.gob.ec

Ecuador, Cotopaxi, Latacunga.

MSc. Calero Campoverde Alicia Verónica

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4339-8786>

Magíster en Educación Básica.

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, Escuela de Educación Básica Luis Pasteur

Correo: alicia.calero@educacion.gob.ec

Ecuador, Sucumbíos, Lago Agrio.

Aviso Legal y Derechos de Autor

© 2026. Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-9942-575-61-6

Obra registrada con Certificado N° QUI- 073180, emitido por la Dirección Nacional de Derecho de Autor y Derechos Conexos, conforme a la normativa vigente en materia de propiedad intelectual.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, su almacenamiento en sistemas de recuperación de información o su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros sin la autorización previa y por escrito del titular de los derechos o de Páginas Brillantes Ecuador.

Se exceptúan únicamente las citas breves con fines académicos, investigativos o de reseña crítica, siempre que se mencione adecuadamente la fuente.

El autor se reserva los derechos exclusivos de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de la obra, conforme a la legislación vigente.

Esta publicación fue sometida a un proceso de evaluación académica mediante revisión por pares ciegos académicos, garantizando el rigor científico, la calidad metodológica y la pertinencia del contenido.

Para solicitudes de autorización, permisos especiales o información adicional, comuníquese con Páginas Brillantes Ecuador.

Índice de Contenidos

Capítulo 1. Fundamentos de Matemáticas y Física para la Comprensión de Fenómenos	2
1.1. Bases epistemológicas del conocimiento matemático y físico .	3
1.1.1. Naturaleza del razonamiento matemático y del pensamiento físico.....	3
1.1.2. Relaciones entre abstracción, observación y explicación...	5
1.1.3. Construcción de conceptos a partir de evidencias	6
1.1.4. Lenguaje matemático en la interpretación de la realidad ...	8
1.1.5. Articulación entre teoría, representación y fenómeno.....	9
1.2. Perspectiva STEAM en la formación científico-técnica.....	10
1.2.1. Fundamentos educativos del enfoque STEAM	11
1.2.2. Convergencia entre ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas	12
1.2.3. Interdisciplinariedad para abordar situaciones complejas	14
1.2.4. Creatividad como componente del razonamiento científico	15
1.2.5. Vinculación del conocimiento con problemas del entorno	17
1.3. Relaciones cuantitativas para interpretar sistemas físicos.....	18
1.3.1. Magnitudes, variables y parámetros	18
1.3.2. Proporcionalidad y variación.....	19
1.3.3. Funciones asociadas al comportamiento de sistemas.....	21
1.3.4. Patrones matemáticos presentes en fenómenos naturales	22
1.3.5. Relaciones entre ecuaciones y comportamiento físico	23
1.4. Representaciones para explicar la realidad físico-matemática	25
1.4.1. Diagramas y esquemas de situaciones físicas.....	25
1.4.2. Gráficas para analizar cambios y relaciones	26
1.4.3. Expresiones algebraicas como formas de explicación	27
1.4.4. Correspondencia entre datos, gráficos y ecuaciones.....	28
1.4.5. Alcances y límites de las representaciones utilizadas.....	29
1.5. Modelización de situaciones científico-matemáticas	30
1.5.1. Del fenómeno observable a su formulación matemática ..	31
1.5.2. Supuestos y simplificaciones en la construcción de modelos	32
1.5.3. Formulación de relaciones entre variables.....	34

1.5.4. Validación mediante datos y comportamiento esperado ..	34
1.5.5. Revisión del modelo frente a nuevas condiciones.....	35
Capítulo 2. Investigación Experimental y Análisis Cuantitativo de Fenómenos Físicos	39
2.1. Formulación de problemas susceptibles de investigación	40
2.1.1. Observación sistemática de situaciones físicas	41
2.1.2. Construcción de preguntas investigables	42
2.1.3. Identificación y control de variables	43
2.1.4. Elaboración de hipótesis verificables	44
2.1.5. Planificación del procedimiento experimental	45
2.2. Medición y obtención de evidencia empírica	46
2.2.1. Sistemas de unidades y magnitudes fundamentales	47
2.2.2. Selección y uso de instrumentos de medida	48
2.2.3. Precisión, exactitud y resolución instrumental	49
2.2.4. Incertidumbre y fuentes de error	51
2.2.5. Registro sistemático de observaciones.....	52
2.3. Tratamiento matemático de datos experimentales	53
2.3.1. Organización de conjuntos de datos.....	54
2.3.2. Parámetros descriptivos para resumir mediciones	55
2.3.3. Representación gráfica de resultados	56
2.3.4. Identificación de tendencias y relaciones funcionales	57
2.3.5. Interpretación cuantitativa de la evidencia obtenida.....	58
2.4. Experimentación en diferentes campos de la Física	59
2.4.1. Movimiento y comportamiento cinemático	60
2.4.2. Fuerzas, equilibrio y dinámica.....	61
2.4.3. Trabajo, energía y transformaciones.....	62
2.4.4. Ondas, sonido y fenómenos ópticos.....	63
2.4.5. Electricidad y magnetismo mediante experiencias controladas	65
2.5. Argumentación a partir de resultados experimentales	66
2.5.1. Contraste entre hipótesis y resultados	66
2.5.2. Interpretación física de valores numéricos.....	67
2.5.3. Evaluación de discrepancias y resultados inesperados	68
2.5.4. Elaboración de conclusiones sustentadas en evidencia ..	70
2.5.5. Comunicación rigurosa de hallazgos	71
Capítulo 3. Simulación, Programación y Recursos Digitales para la Exploración Científica.....	75

3.1. Visualización dinámica de conceptos matemáticos y físicos ..	76
3.1.1. Representación digital de funciones y relaciones	77
3.1.2. Exploración gráfica de cambios entre variables	78
3.1.3. Geometría dinámica aplicada a situaciones físicas	79
3.1.4. Animaciones para estudiar movimiento y comportamiento	80
3.1.5. Entornos interactivos para conceptos de alta abstracción ..	82
3.2. Simulación computacional de fenómenos	83
3.2.1. Construcción virtual de escenarios físicos	84
3.2.2. Manipulación de parámetros y condiciones iniciales	85
3.2.3. Predicción del comportamiento de sistemas	86
3.2.4. Comparación entre simulación y experimentación	87
3.2.5. Limitaciones de los resultados simulados	88
3.3. Sensores para el estudio cuantitativo del entorno	90
3.3.1. Captura digital de magnitudes físicas	91
3.3.2. Registro automatizado de mediciones	92
3.3.3. Seguimiento de variables en tiempo real	93
3.3.4. Procesamiento de información procedente de sensores ..	94
3.3.5. Interpretación de series de datos obtenidas digitalmente ..	95
3.4. Programación aplicada a problemas matemático-físicos	97
3.4.1. Construcción de algoritmos para procedimientos matemáticos	98
3.4.2. Automatización de cálculos científicos	99
3.4.3. Representación computacional de leyes físicas	100
3.4.4. Desarrollo de simulaciones mediante código	101
3.4.5. Verificación de resultados mediante procedimientos computacionales	102
3.5. Pensamiento computacional en el razonamiento científico ..	103
3.5.1. Descomposición de problemas complejos	104
3.5.2. Reconocimiento de patrones	106
3.5.3. Abstracción de información relevante	107
3.5.4. Diseño secuencial de procedimientos	108
3.5.5. Evaluación y mejora de algoritmos	109
Capítulo 4. Matemáticas y Física Aplicadas al Diseño de Ingeniería	113
4.1. Del problema científico al desafío de diseño	114
4.1.1. Identificación de necesidades del contexto	114
4.1.2. Definición de requisitos y restricciones	116

4.1.3. Generación de alternativas viables	117
4.1.4. Selección fundamentada de propuestas	119
4.1.5. Planificación del proceso de construcción	120
4.2. Geometría, cálculo y optimización en el diseño	121
4.2.1. Dimensiones y relaciones espaciales	121
4.2.2. Escalas y proporcionalidad en representaciones técnicas	122
4.2.3. Cálculo de áreas, volúmenes y cantidades	124
4.2.4. Estimación de recursos necesarios	125
4.2.5. Optimización de parámetros de diseño	126
4.3. Principios físicos para construir soluciones funcionales	127
4.3.1. Estabilidad y equilibrio de estructuras	127
4.3.2. Fuerzas y resistencia mecánica	129
4.3.3. Movimiento y funcionamiento de mecanismos	130
4.3.4. Transferencia y aprovechamiento de energía	131
4.3.5. Propiedades físicas para la selección de materiales	132
4.4. Prototipado y comprobación del funcionamiento	133
4.4.1. Representación inicial de la propuesta	134
4.4.2. Elaboración de prototipos a escala	135
4.4.3. Definición de pruebas de funcionamiento.....	136
4.4.4. Análisis de fallos y restricciones detectadas	137
4.4.5. Rediseño basado en resultados	138
4.5. Ingeniería orientada a desafíos del entorno	139
4.5.1. Estructuras eficientes para necesidades concretas.....	140
4.5.2. Sistemas para el aprovechamiento de fuentes energéticas	141
4.5.3. Mecanismos vinculados con movilidad y transporte	142
4.5.4. Dispositivos para medir y controlar variables ambientales	143
4.5.5. Soluciones técnicas vinculadas con sostenibilidad	144
Capítulo 5. Desempeño Científico y Aplicación de Saberes en Escenarios STEAM	148
5.1. Razonamiento científico ante situaciones complejas	149
5.1.1. Identificación de información relevante	150
5.1.2. Formulación de explicaciones fundamentadas	151
5.1.3. Uso de evidencias para sustentar afirmaciones	152
5.1.4. Evaluación crítica de resultados	153

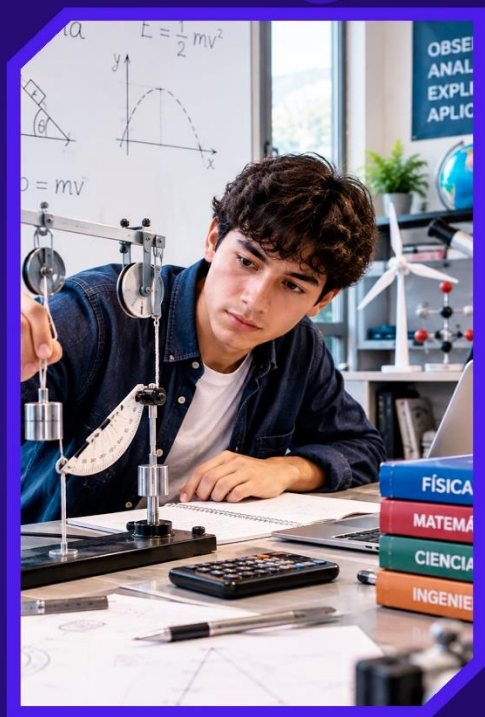
5.1.5. Toma de decisiones basada en conocimiento científico .	154
5.2. Transferencia de saberes a nuevos contextos	156
5.2.1. Reconocimiento de principios aplicables	156
5.2.2. Adaptación de procedimientos ante condiciones diferentes	157
5.2.3. Vinculación entre conceptos y situaciones reales	158
5.2.4. Selección de recursos según la naturaleza del desafío ...	159
5.2.5. Generalización de aprendizajes obtenidos.....	160
5.3. Desempeños tecnológicos y de ingeniería	162
5.3.1. Uso funcional de recursos tecnológicos	162
5.3.2. Planificación técnica de una propuesta	163
5.3.3. Construcción de productos verificables	164
5.3.4. Comprobación del desempeño alcanzado.....	165
5.3.5. Mejora de propuestas a partir de evidencias	166
5.4. Evaluación de desempeños en proyectos interdisciplinarios.	167
5.4.1. Evidencias para valorar razonamiento matemático y físico	168
5.4.2. Criterios de logro científico, tecnológico y técnico.....	169
5.4.3. Rúbricas para experimentos, prototipos y proyectos	170
5.4.4. Valoración del proceso y del producto obtenido	171
5.4.5. Retroalimentación orientada al perfeccionamiento del desempeño	172
5.5. Casos y experiencias de aplicación STEAM	173
5.5.1. Caso de diseño y construcción de una estructura resistente	174
5.5.2. Experiencia de análisis del movimiento mediante sensores y funciones	175
5.5.3. Caso de aprovechamiento de energía mediante un prototipo a pequeña escala.....	176
5.5.4. Experiencia de simulación computacional de un fenómeno físico	178
5.5.5. Caso interdisciplinario de diseño, construcción y validación de una solución para el entorno	179
Referencias	183

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Proceso de construcción de conceptos a partir de evidencias</i>	8
Figura 2 <i>Componentes del enfoque STEAM y su convergencia interdisciplinaria</i>	14
Figura 3 <i>Correspondencia entre datos, gráficos y ecuaciones</i>	29
Figura 4 <i>Del fenómeno observable a la formulación matemática</i>	32
Figura 5 <i>Fases de planificación de un procedimiento experimental</i> ..	46
Figura 6 <i>Principales fuentes de incertidumbre y error en la medición</i>	52
Figura 7 <i>Proceso para elaborar conclusiones sustentadas en evidencia</i>	71
Figura 8 <i>Características de los entornos interactivos para la exploración científica</i>	83
Figura 9 <i>Proceso de registro automatizado de mediciones mediante sensores</i>	93
Figura 10 <i>Descomposición de un problema complejo en componentes abordables</i>	105
Figura 11 <i>Secuencia del pensamiento computacional aplicado a procedimientos científicos</i>	109
Figura 12 <i>Generación y selección progresiva de alternativas de diseño</i>	118
Figura 13 <i>Ciclo de prototipado, comprobación y rediseño</i>	139
Figura 14 <i>Proceso de toma de decisiones basado en conocimiento científico</i>	155
Figura 15 <i>Ciclo de mejora de propuestas a partir de evidencias</i>	167
Figura 16 <i>Etapas del caso interdisciplinario: diseño, construcción y validación de una solución</i>	180

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Características del razonamiento matemático y del pensamiento físico</i>	5
Tabla 2 <i>Manifestaciones de la creatividad en el razonamiento científico</i>	16
Tabla 3 <i>Magnitudes, variables y parámetros empleados en sistemas físicos</i>	19
Tabla 4 <i>Ejemplos de relaciones entre ecuaciones y comportamientos físicos</i>	24
Tabla 5 <i>Supuestos y simplificaciones frecuentes en la construcción de modelos</i>	33
Tabla 6 <i>Tipos de variables y formas de control en una investigación experimental</i>	44
Tabla 7 <i>Instrumentos de medida según la magnitud física estudiada</i>	49
Tabla 8 <i>Parámetros descriptivos aplicables al análisis de mediciones</i>	56
Tabla 9 <i>Magnitudes y relaciones matemáticas presentes en ondas, sonido y óptica</i>	64
Tabla 10 <i>Posibles causas de discrepancias en los resultados experimentales</i>	69
Tabla 11 <i>Aplicaciones de la geometría dinámica en situaciones físicas</i>	80
Tabla 12 <i>Comparación entre experimentación física y simulación computacional</i>	88
Tabla 13 <i>Criterios para interpretar series de datos obtenidas mediante sensores</i>	96
Tabla 14 <i>Aplicaciones de la automatización de cálculos en problemas científico-matemáticos</i>	100
Tabla 15 <i>Aplicaciones de escalas y proporcionalidad en representaciones técnicas</i>	123
Tabla 16 <i>Condiciones físicas relacionadas con la estabilidad y el equilibrio estructural</i>	128
Tabla 17 <i>Propiedades físicas consideradas en la selección de materiales</i>	133
Tabla 18 <i>Variables ambientales y dispositivos empleados para su medición y control</i>	144
Tabla 19 <i>Adaptación de procedimientos ante diferentes condiciones y contextos</i>	159
Tabla 20 <i>Criterios para valorar el logro científico, tecnológico y técnico</i>	170
Tabla 21 <i>Componentes de una rúbrica para experimentos, prototipos y proyectos</i>	171
Tabla 22 <i>Elementos de análisis del caso de aprovechamiento de energía mediante prototipado</i>	177



CAPÍTULO 1

Fundamentos de Matemáticas
y Física para la Comprensión
de Fenómenos

Capítulo 1. Fundamentos de Matemáticas y Física para la Comprensión de Fenómenos

La comprensión de los fenómenos naturales ha dependido históricamente de la articulación estrecha entre el razonamiento matemático y el pensamiento físico, dos formas de conocimiento que, aunque distintas en su origen, convergen constantemente en la explicación del mundo observable. Este capítulo inaugural establece las bases epistemológicas que sostienen dicha articulación, antes de examinar cómo el enfoque STEAM, las relaciones cuantitativas, las representaciones y la modelización permiten al profesorado de bachillerato y educación media construir puentes efectivos entre ambas disciplinas.

El propósito de estas páginas es ofrecer al docente de Matemáticas y Física un marco conceptual riguroso que le permita comprender por qué la integración de estas dos áreas no constituye una yuxtaposición curricular arbitraria, sino una necesidad epistemológica que refleja la manera en que se construye efectivamente el saber científico. Aguilera y Vílchez-González (2024) documentan que las experiencias educativas más consistentes bajo el enfoque STEAM son precisamente aquellas que parten de una comprensión clara de esta articulación disciplinar, y no de la simple adición de actividades tecnológicas o artísticas a los contenidos tradicionales.

El capítulo se organiza en cinco secciones que avanzan de lo conceptual a lo aplicado. La primera examina las bases epistemológicas del conocimiento matemático y físico. La segunda desarrolla la perspectiva STEAM en la formación científico-técnica. La tercera aborda las relaciones cuantitativas necesarias para interpretar sistemas físicos. La cuarta explora las representaciones que explican la realidad físico-matemática, y la quinta cierra el capítulo con la modelización de situaciones científico-matemáticas.

La tesis central que atraviesa estas páginas sostiene que la enseñanza integrada de las Matemáticas y la Física exige, como condición previa, una comprensión epistemológica compartida sobre la naturaleza del saber científico, comprensión que orienta el desarrollo de los capítulos siguientes de esta obra, dedicados a la investigación experimental, la simulación digital, el diseño de ingeniería y la evaluación de desempeños STEAM.

1.1. Bases epistemológicas del conocimiento matemático y físico

Las bases epistemológicas del conocimiento matemático y físico constituyen el punto de partida indispensable para cualquier propuesta de integración curricular entre ambas disciplinas, en la medida en que dicha integración requiere comprender previamente en qué se asemejan y en qué se distinguen estas dos formas de construir saber sobre el mundo.

A lo largo de esta sección se examinan cinco aspectos de estas bases: la naturaleza del razonamiento matemático y del pensamiento físico, las relaciones entre abstracción, observación y explicación, la construcción de conceptos a partir de evidencias, el lenguaje matemático en la interpretación de la realidad y la articulación entre teoría, representación y fenómeno.

1.1.1. Naturaleza del razonamiento matemático y del pensamiento físico

El razonamiento matemático se caracteriza por operar dentro de sistemas axiomáticos cuya validez interna no depende necesariamente de su correspondencia con fenómenos observables, mientras que el pensamiento físico se orienta constantemente hacia la explicación y predicción de eventos que ocurren efectivamente en el mundo natural, sometiendo sus construcciones teóricas a una verificación empírica sostenida. Esta distinción no implica una

separación tajante entre ambas formas de pensamiento, puesto que la física recurre constantemente a estructuras matemáticas para formalizar sus leyes, y la matemática, a su vez, encuentra en los fenómenos físicos una fuente histórica considerable de problemas e intuiciones que han impulsado su propio desarrollo disciplinar a lo largo del tiempo.

Mancera Ortiz y Camelo Bustos (2020) documentan que comprender esta relación dual entre abstracción matemática y verificación física resulta particularmente relevante para el profesorado de educación media, quien debe ayudar a sus estudiantes a transitar de manera fluida entre el rigor deductivo de las matemáticas y la contrastación empírica que caracteriza a las ciencias físicas. Esa doble exigencia cobra sentido cuando el docente diseña secuencias que alternan deliberadamente entre momentos de razonamiento puramente deductivo, propios de la resolución de ejercicios matemáticos formales, y momentos de contrastación empírica, propios de la observación y medición de fenómenos físicos concretos. Un alumno que solamente practica la deducción matemática sin experimentar la verificación física difícilmente desarrollará una comprensión integrada de ambas disciplinas, mientras que uno que solo observa fenómenos sin formalizarlos matemáticamente carecerá del rigor necesario para generalizar sus hallazgos hacia situaciones distintas de las estudiadas inicialmente en el aula.

Esa alternancia entre deducción y contrastación empírica constituye, en definitiva, el núcleo pedagógico sobre el cual se construye la integración efectiva de Matemáticas y Física en el bachillerato, principio que los capítulos siguientes retoman y desarrollan progresivamente en contextos cada vez más aplicados y específicos del quehacer científico escolar. Vale la pena subrayar, además, que ninguna de las dos formas de pensamiento resulta superior a la otra en términos absolutos; cada una responde a

exigencias distintas y aporta un tipo de rigor particular. Cuando el aula reconoce y valora esta complementariedad, en lugar de tratar la física como una simple aplicación de fórmulas matemáticas ya conocidas, el alumnado desarrolla una imagen más fiel de cómo dialogan realmente ambas disciplinas en la investigación científica contemporánea.

Tabla 1

Características del razonamiento matemático y del pensamiento físico

Dimensión	Razonamiento matemático	Pensamiento físico
Validez	Interna, basada en axiomas y deducción	Empírica, basada en contrastación con el fenómeno
Punto de partida	Estructuras abstractas y definiciones	Observación de fenómenos naturales
Criterio de verdad	Consistencia lógica	Correspondencia con la evidencia experimental
Función principal	Generalización y formalización	Explicación y predicción de eventos

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.1.2. Relaciones entre abstracción, observación y explicación

La abstracción matemática permite representar regularidades observadas en fenómenos físicos mediante símbolos y estructuras que trascienden las particularidades del caso concreto, posibilitando generalizaciones que se aplican a múltiples situaciones que comparten una misma estructura matemática subyacente, con independencia de su naturaleza física específica. La observación, por su parte, constituye el origen empírico que motiva la construcción de dichas abstracciones, proporcionando los datos y regularidades que el razonamiento matemático posteriormente sistematiza, mientras que la explicación integra ambos elementos en un relato coherente que da sentido causal a la regularidad observada y formalizada matemáticamente.

Esta triple relación no opera de manera lineal ni secuencial, sino como un ciclo iterativo en el que cada componente retroalimenta a los demás, exigiendo del alumnado una comprensión flexible que reconozca la naturaleza dinámica y no mecánica de la construcción del saber científico. Conviene que el docente que diseña actividades de aula anticipe esta naturaleza cíclica, puesto que los estudiantes regresarán varias veces sobre una misma observación inicial a medida que su comprensión conceptual se profundiza, revisando explicaciones previas a la luz de nuevas abstracciones matemáticas incorporadas. Reconocerlo evita presentar la construcción del saber como un proceso estrictamente secuencial de una sola pasada y permite, en cambio, actividades que regresan deliberadamente sobre fenómenos ya observados para enriquecerlos con herramientas matemáticas progresivamente más sofisticadas conforme avanza el curso escolar.

Un ejemplo habitual de este retorno cíclico ocurre cuando el alumnado estudia el movimiento en primer curso de bachillerato con herramientas aritméticas sencillas y regresa, meses después, al mismo fenómeno con funciones y derivadas, descubriendo matices que la primera aproximación no permitía advertir. Diseñar el currículo pensando en estos regresos deliberados, en lugar de tratar cada tema como un compartimento cerrado, refuerza la coherencia interna de la asignatura y evita que el aprendizaje se perciba como una sucesión de bloques inconexos.

1.1.3. Construcción de conceptos a partir de evidencias

La construcción de conceptos científicos y matemáticos a partir de evidencias empíricas constituye un proceso gradual que rara vez ocurre de manera espontánea en el aula, requiriendo en su lugar una secuencia didáctica deliberada que guíe al alumno desde la observación inicial hasta la formalización conceptual completa del fenómeno estudiado. La Figura 1 sintetiza el proceso de construcción

de conceptos a partir de evidencias, ilustrando el tránsito desde la recolección inicial de datos observables, pasando por la identificación de regularidades y patrones, hasta la formulación de un concepto que integra dichas regularidades dentro de una estructura teórica coherente y generalizable.

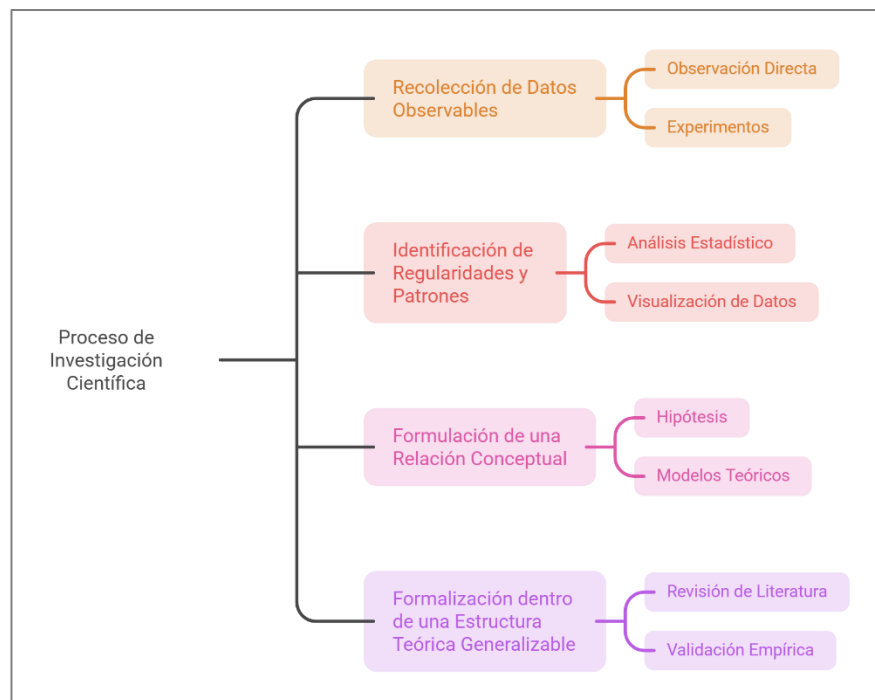
Este proceso constructivo exige que el docente diseñe experiencias donde el estudiante manipule directamente evidencias concretas antes de proceder hacia la abstracción, evitando la presentación prematura de definiciones formales que, sin este andamiaje empírico previo, tienden a memorizarse sin comprensión genuina por parte del alumnado. Esta secuencia, que parte de lo concreto hacia lo abstracto, contrasta con la práctica tradicional de presentar primero la definición formal y solamente después ejemplos que la ilustran, práctica que invierte el orden natural en que efectivamente se construye la ciencia. Un estudiante que explora primero un conjunto de evidencias, formula sus propias conjeturas provisionales y solo entonces recibe la formalización conceptual desarrolla una comprensión considerablemente más sólida y duradera que aquel que memoriza la definición sin haber transitado previamente por el proceso que le da sentido genuino.

Semejante secuencia constructivista exige del docente una planificación cuidadosa de los materiales y actividades que preceden a la formalización conceptual, asegurando que las evidencias presentadas al estudiante contengan efectivamente la información necesaria para que dicha construcción resulte posible, sin dejar al azar un proceso que requiere andamiaje pedagógico deliberado y sistemático. Este andamiaje puede materializarse en guías de observación con preguntas escalonadas, tablas de registro que el estudiante completa a medida que recoge datos, o breves discusiones en pequeños grupos antes de la puesta en común con el resto de la clase. Ninguno de estos recursos sustituye el papel del docente como

guía, pero todos contribuyen a que la construcción del concepto se apoye en un proceso ordenado y no en la improvisación del momento.

Figura 1

Proceso de construcción de conceptos a partir de evidencias



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.1.4. Lenguaje matemático en la interpretación de la realidad

El lenguaje matemático constituye la herramienta privilegiada mediante la cual la física traduce sus observaciones sobre el mundo natural en expresiones precisas y manipulables, permitiendo operaciones formales que revelan relaciones no evidentes a partir de la sola observación cualitativa de los fenómenos estudiados. Esta función traductora exige del alumnado una alfabetización específica,

distinta de la alfabetización matemática puramente procedimental, que le permita reconocer qué representa cada símbolo dentro del fenómeno físico, y no únicamente ejecutar correctamente las operaciones formales que dicho símbolo indica.

Testa y Catena (2022) documentan que las dificultades más frecuentes de los estudiantes de secundaria surgen precisamente en esta transición entre el lenguaje matemático formal y su interpretación física, lo que subraya la necesidad de estrategias didácticas que exploren explícitamente dicha correspondencia en lugar de asumirla como evidente por sí misma. Tales dificultades se manifiestan con particular frecuencia cuando un mismo símbolo adopta significados físicos distintos según el contexto, como ocurre con la letra que representa simultáneamente velocidad en un problema y volumen en otro, generando confusiones que el estudiante no siempre logra resolver sin la mediación explícita del profesor. Superarlas requiere actividades que exijan al alumno explicitar verbalmente qué representa cada símbolo antes de operar con él, práctica que fortalece progresivamente su capacidad de leer el lenguaje matemático como una traducción fiel y no arbitraria del fenómeno físico estudiado en cada situación particular del aula.

Esa capacidad de traducción fiel entre símbolo y fenómeno constituye, además, un prerrequisito indispensable para el trabajo posterior con expresiones algebraicas más complejas, examinado con mayor detalle en la sección 1.4 de este capítulo, donde la correcta interpretación de cada término de una ecuación determina la posibilidad de manipularla con sentido físico genuino.

1.1.5. Articulación entre teoría, representación y fenómeno

La articulación entre teoría, representación y fenómeno cierra el ciclo epistemológico examinado en esta sección, integrando el marco conceptual abstracto, las representaciones simbólicas o

gráficas que lo expresan, y el fenómeno físico concreto que dicha teoría pretende explicar y predecir de manera coherente. Esta articulación triple resulta particularmente relevante para la enseñanza integrada de Matemáticas y Física, puesto que un estudiante que domina la teoría pero no logra vincularla con sus representaciones y con el fenómeno observable presenta, en la práctica, una comprensión fragmentada e insuficiente del contenido científico estudiado.

Este entramado constituye el fundamento sobre el cual se construye la perspectiva STEAM examinada en la sección siguiente, en la medida en que dicha perspectiva exige precisamente la capacidad de transitar con fluidez entre teoría, representación y fenómeno a través de múltiples disciplinas convergentes. Fortalecerla requiere, en la práctica del aula, actividades que exijan al estudiante regresar constantemente entre estos tres elementos, verificando que la teoría propuesta explique efectivamente el fenómeno observado y que la representación elegida capture con fidelidad ambos componentes de manera coherente. Un alumno que memoriza una teoría sin poder representarla ni vincularla con fenómenos concretos, o que representa un fenómeno sin comprender la teoría subyacente, presenta vacíos que el docente debe identificar tempranamente mediante preguntas que exijan explícitamente esa triple articulación del saber científico.

1.2. Perspectiva STEAM en la formación científico-técnica

La perspectiva STEAM en la formación científico-técnica traduce las bases epistemológicas examinadas en la sección anterior hacia un modelo pedagógico que integra explícitamente Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas dentro de experiencias formativas coherentes. Mendoza et al. (2023) documentan que la transferencia efectiva de conocimiento bajo este enfoque depende de que las disciplinas involucradas se articulen genuinamente, y no se juxtapongan de manera superficial dentro de un mismo proyecto.

Cinco componentes de esta perspectiva se desarrollan a continuación: los fundamentos educativos del enfoque STEAM, la convergencia entre sus cinco áreas constitutivas, la interdisciplinariedad necesaria para abordar situaciones complejas, la creatividad como componente del razonamiento científico y la vinculación del saber con problemas del entorno inmediato del estudiante.

1.2.1. Fundamentos educativos del enfoque STEAM

El enfoque STEAM se fundamenta educativamente en la convicción de que los desafíos contemporáneos rara vez se resuelven desde una única disciplina aislada, exigiendo en su lugar la integración deliberada de saberes científicos, tecnológicos, ingenieriles, artísticos y matemáticos dentro de experiencias de aprendizaje genuinamente interdisciplinarias. Aguilera y Vílchez-González (2024) documentan que este fundamento se sostiene, además, en principios constructivistas que privilegian el aprendizaje activo, la resolución de problemas auténticos y la construcción social del conocimiento por encima de la transmisión unidireccional y fragmentada de contenidos disciplinares aislados entre sí.

De ahí que las instituciones de bachillerato deban reconsiderar sus estructuras curriculares tradicionales, organizadas habitualmente en asignaturas separadas, para habilitar espacios formativos donde la integración disciplinar propuesta por el enfoque STEAM pueda desarrollarse de manera efectiva y sostenida en el tiempo. Esa reconsideración curricular no implica necesariamente eliminar las asignaturas tradicionales de Matemáticas y Física, sino habilitar espacios complementarios, tales como proyectos interdisciplinarios periódicos o unidades temáticas compartidas, donde los contenidos de ambas asignaturas converjan explícitamente con aportes tecnológicos, ingenieriles y artísticos. Esta convivencia entre la estructura disciplinar tradicional y los espacios de integración STEAM permite a los centros educativos avanzar gradualmente hacia el

enfoque propuesto sin requerir una transformación curricular completa e inmediata, estrategia particularmente realista para instituciones con recursos y capacidades de gestión del cambio limitadas.

Esta vía gradual resulta especialmente pertinente para los centros que recién comienzan a incorporar el enfoque STEAM, ya que les permite construir progresivamente la experiencia institucional necesaria antes de emprender una reforma curricular más ambiciosa y estructural que involucre la totalidad de su oferta formativa. En la práctica, muchos liceos que hoy sostienen programas STEAM consolidados comenzaron con una única feria de ciencias interdisciplinaria al año o con un club extracurricular optativo, y solo después de comprobar su valor formativo decidieron integrarlo de manera más sistemática al plan de estudios. Este camino incremental, lejos de ser una limitación, ofrece a cada institución la oportunidad de ajustar el enfoque a su propia cultura escolar antes de comprometer recursos mayores en una transformación de fondo.

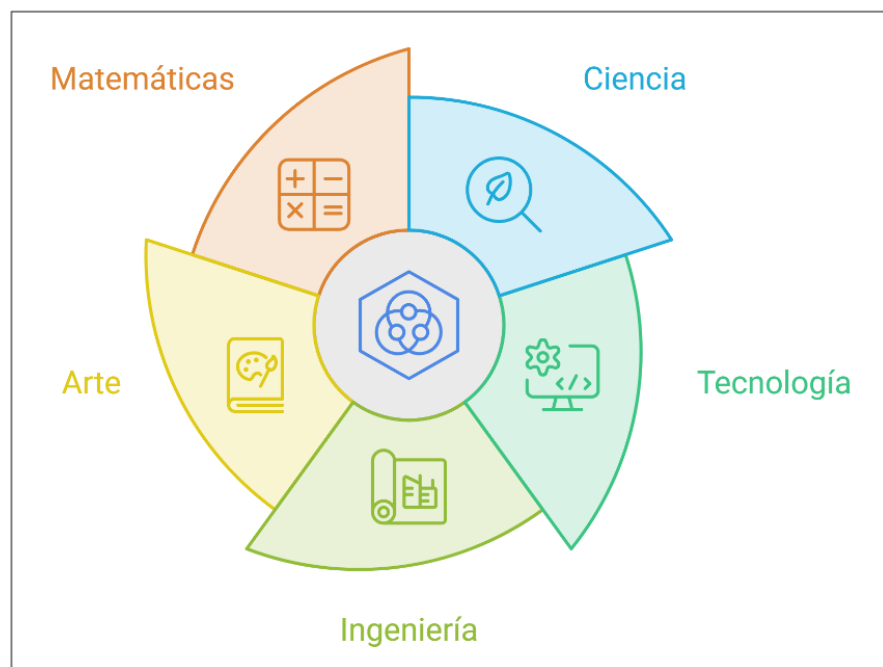
1.2.2. Convergencia entre ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas

La convergencia entre las cinco áreas constitutivas del enfoque STEAM no implica su fusión indiferenciada, sino la articulación intencional de sus aportes específicos dentro de un proyecto o problema común, donde cada disciplina conserva su identidad mientras contribuye de manera complementaria a la comprensión y resolución del desafío planteado. La Figura 2 representa los componentes del enfoque STEAM y su convergencia interdisciplinaria, ilustrando cómo la ciencia aporta marcos explicativos, la tecnología ofrece herramientas de exploración, la ingeniería estructura procesos de diseño, el arte enriquece la comunicación y la creatividad, y las matemáticas proporcionan el lenguaje formal que articula el conjunto.

Diseñar esta convergencia exige del docente una planificación cuidadosa que identifique, para cada proyecto STEAM propuesto, el aporte específico y genuino de cada área involucrada, evitando la inclusión artificial de componentes disciplinares que no contribuyan sustantivamente a la comprensión del fenómeno o problema abordado en el aula.

Semejante planificación distingue a los proyectos STEAM genuinamente integradores de aquellos que simplemente añaden un componente artístico decorativo o una herramienta tecnológica superficial a una actividad esencialmente disciplinar tradicional. Un proyecto auténticamente convergente exige que el estudiante utilice efectivamente conocimientos matemáticos y físicos para resolver el problema planteado, que dicha resolución requiera herramientas tecnológicas o procesos de diseño ingenieril, y que la comunicación de resultados incorpore genuinamente elementos artísticos que enriquezcan su comprensión y transmisión hacia audiencias diversas dentro y fuera del aula.

Marques et al. (2023) documentan, en el contexto del aula de matemáticas, que la incorporación genuina de elementos artísticos, tales como narrativas visuales o representaciones gráficas creativas, puede fortalecer significativamente la comprensión de conceptos matemáticos abstractos cuando dicha incorporación se articula cuidadosamente con los objetivos de aprendizaje disciplinares perseguidos por el docente. Un cómic que narra el desplazamiento de un cuerpo en caída, una infografía diseñada por los propios estudiantes para explicar una ley física, o una maqueta que combina precisión matemática con cuidado estético, ilustran cómo el arte puede convertirse en vehículo de comprensión y no en simple adorno. Lo decisivo, en cualquiera de estos casos, es que la elaboración artística obligue al estudiante a tomar decisiones fundamentadas en el contenido científico, y no únicamente en el gusto personal.

Figura 2*Componentes del enfoque STEAM y su convergencia interdisciplinaria*

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.2.3. Interdisciplinariedad para abordar situaciones complejas

La interdisciplinariedad que caracteriza al enfoque STEAM responde a la naturaleza intrínsecamente compleja de los problemas contemporáneos, que rara vez se ajustan a los límites disciplinares tradicionales establecidos por la organización curricular convencional de las instituciones de educación media. Dicha interdisciplinariedad exige del estudiante integrar simultáneamente conocimientos y métodos provenientes de distintas áreas, competencia que trasciende el dominio aislado de contenidos específicos y que constituye, en sí misma, uno de los objetivos formativos centrales que persigue la educación STEAM contemporánea.

Desarrollar esta capacidad integradora requiere que los docentes de Matemáticas y Física trabajen de manera colaborativa con colegas de otras áreas, superando la práctica tradicional del trabajo aislado por asignatura para diseñar conjuntamente situaciones de aprendizaje que exijan genuinamente la convergencia disciplinar propuesta. Esa colaboración requiere, en la práctica institucional, espacios formales de planificación conjunta que trasciendan las reuniones ocasionales e informales, permitiendo a los equipos de distintas áreas diseñar de manera sistemática situaciones de aprendizaje interdisciplinarias a lo largo del año escolar completo. Las instituciones que logran sostenerla de manera efectiva suelen destinar tiempo institucional protegido específicamente para dicha planificación conjunta, reconociendo que la interdisciplinariedad genuina no surge espontáneamente de la buena voluntad individual de los docentes, sino que requiere condiciones organizacionales que la favorezcan y sostengan en el tiempo.

1.2.4. Creatividad como componente del razonamiento científico

La creatividad, componente distintivo que el enfoque STEAM incorpora explícitamente a través del arte, no debe entenderse como ajena al razonamiento científico riguroso, sino como una capacidad complementaria que permite generar hipótesis novedosas, diseñar soluciones originales y comunicar hallazgos de manera efectiva y significativa. La Tabla 2 sistematiza las manifestaciones de la creatividad dentro del razonamiento científico, distinguiendo la creatividad conceptual, vinculada a la generación de explicaciones alternativas, de la creatividad metodológica, vinculada al diseño de procedimientos experimentales, y de la creatividad comunicativa, vinculada a la representación de resultados.

Reconocer esta dimensión creativa resulta particularmente valioso para el profesorado de bachillerato, que puede así diseñar actividades que legitimen la exploración divergente y la generación de

ideas originales, sin sacrificar por ello el rigor metodológico que caracteriza a la investigación científica genuina. Legitimar esa exploración divergente exige del docente una tolerancia pedagógica hacia respuestas inesperadas o caminos de resolución poco convencionales, siempre que dichos caminos se sometan finalmente a la verificación rigurosa que exige el método científico. Un aula que castiga sistemáticamente la desviación respecto de un procedimiento único y predeterminado difícilmente logrará cultivar la creatividad que el enfoque STEAM pretende desarrollar, mientras que un aula que combina apertura exploratoria con exigencia de rigor final ofrece el equilibrio pedagógico más favorable para el desarrollo genuino de esta competencia entre los jóvenes de bachillerato.

Ese equilibrio entre apertura y rigor se conecta directamente con la interdisciplinariedad examinada en la subsección anterior, puesto que la creatividad florece con mayor facilidad precisamente en el espacio de convergencia entre disciplinas, donde herramientas y perspectivas provenientes de distintas áreas del saber se combinan de maneras que ninguna disciplina aislada podría generar por sí sola.

Tabla 2

Manifestaciones de la creatividad en el razonamiento científico

Tipo de creatividad	Manifestación en el aula	Aporte al razonamiento científico
Conceptual	Generación de explicaciones alternativas	Amplía el espacio de hipótesis consideradas
Metodológica	Diseño de procedimientos experimentales propios	Favorece la autonomía investigativa
Comunicativa	Representación visual o artística de resultados	Fortalece la divulgación y comprensión de hallazgos

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.2.5. Vinculación del conocimiento con problemas del entorno

La vinculación del saber matemático y físico con problemas del entorno inmediato del estudiante constituye un principio pedagógico central del enfoque STEAM, que privilegia el aprendizaje situado y contextualizado por encima de la enseñanza descontextualizada de contenidos abstractos sin conexión aparente con la realidad cotidiana.

Esta vinculación favorece, además, la motivación del alumnado hacia el aprendizaje científico, al permitirle reconocer la relevancia práctica y social de los conceptos matemáticos y físicos estudiados, en lugar de percibirlos como contenidos abstractos cuya utilidad resulta difícil de justificar desde su propia experiencia vital.

Los problemas del entorno más efectivos para este propósito suelen ser aquellos que el propio estudiante reconoce como relevantes para su comunidad, tales como el uso eficiente de recursos hídricos, la gestión de residuos o el aprovechamiento de energías renovables disponibles en su región, temas que además se prestan naturalmente a un abordaje interdisciplinario coherente. Esta selección de problemas auténticos y contextualizados fortalece considerablemente el compromiso del alumno con su propio proceso de aprendizaje, transformando la Matemática y la Física de contenidos escolares abstractos en herramientas concretas para comprender y eventualmente transformar su realidad inmediata.

Con esto se completan los componentes centrales de la perspectiva STEAM aplicada a la formación científico-técnica. La sección siguiente examina las relaciones cuantitativas específicas que permiten a los estudiantes interpretar sistemas físicos con el rigor matemático que dicha interpretación efectivamente requiere.

1.3. Relaciones cuantitativas para interpretar sistemas físicos

Las relaciones cuantitativas constituyen la herramienta fundamental mediante la cual el estudiante de bachillerato puede interpretar con precisión el comportamiento de los sistemas físicos, trascendiendo la descripción cualitativa para acceder a un nivel de comprensión predictivo y matemáticamente riguroso. Barragán Mosso et al. (2024) documentan que las conexiones matemáticas que los estudiantes establecen entre distintas representaciones de una relación cuantitativa determinan, en gran medida, la profundidad de su comprensión del fenómeno asociado. En las páginas siguientes se examinan cinco elementos de estas relaciones: las magnitudes, variables y parámetros involucrados, la proporcionalidad y variación entre ellos, las funciones asociadas al comportamiento de los sistemas, los patrones matemáticos presentes en fenómenos naturales y las relaciones entre ecuaciones y comportamiento físico observado.

1.3.1. Magnitudes, variables y parámetros

Las magnitudes físicas, entendidas como propiedades susceptibles de medición cuantitativa, constituyen el origen de cualquier análisis riguroso de un sistema físico, requiriendo del alumno una comprensión clara de su naturaleza, sus unidades de medida y su papel específico dentro del fenómeno estudiado. Las variables, por su parte, representan magnitudes cuyo valor cambia dentro del sistema analizado, mientras que los parámetros permanecen constantes durante el análisis particular considerado, aunque puedan variar entre distintos escenarios o configuraciones del mismo sistema físico.

La Tabla 3 sistematiza las magnitudes, variables y parámetros empleados con mayor frecuencia en sistemas físicos estudiados en bachillerato, distinguiendo su naturaleza física, sus unidades habituales y ejemplos concretos que facilitan su identificación por

parte del alumnado en situaciones nuevas. Esta distinción entre variables y parámetros, aunque conceptualmente clara, suele generar confusión práctica entre los jóvenes de bachillerato, particularmente cuando un mismo símbolo actúa como parámetro en un problema y como variable en otro, según qué elementos del sistema se mantengan fijos y cuáles se permitan cambiar durante el análisis propuesto. Superar esta confusión requiere que el docente explice constantemente, al inicio de cada nuevo problema, qué magnitudes se tratan como constantes y cuáles como variables, evitando que el estudiante asuma una clasificación fija e invariable para cada símbolo matemático.

Tabla 3

Magnitudes, variables y parámetros empleados en sistemas físicos

Categoría	Ejemplo	Naturaleza
Magnitud fundamental	Longitud, masa, tiempo	Medible directamente, unidad base del sistema
Variable dependiente	Posición, velocidad	Cambia en función de otra magnitud del sistema
Variable independiente	Tiempo transcurrido	Determina el valor de otras variables asociadas
Parámetro	Constante de gravitación, coeficiente de fricción	Permanece fijo dentro de un mismo análisis

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.3.2. Proporcionalidad y variación

La proporcionalidad constituye una de las relaciones cuantitativas más frecuentes en los sistemas físicos estudiados en bachillerato, manifestándose cuando dos magnitudes varían de manera conjunta y consistente, ya sea directa o inversamente, permitiendo predecir el valor de una magnitud a partir del valor

conocido de la otra. Comprender genuinamente la proporcionalidad trasciende la aplicación mecánica de fórmulas o reglas de tres, exigiendo del estudiante una comprensión conceptual sobre por qué determinadas magnitudes físicas varían de manera proporcional, comprensión que se fortalece considerablemente cuando se vincula explícitamente con el fenómeno físico subyacente.

El estudio de la variación, más allá de la proporcionalidad simple, introduce al alumnado en relaciones cuantitativas más complejas, donde el cambio de una magnitud no resulta directamente proporcional a otra, preparando así el terreno conceptual para el estudio de funciones asociadas examinado en la subsección siguiente.

Ese tránsito hacia formas de variación más complejas debe realizarse de manera gradual, comenzando con situaciones donde la relación proporcional resulta evidente e intuitiva, tales como la relación entre distancia recorrida y tiempo a velocidad constante, antes de avanzar hacia relaciones no proporcionales donde la tasa de cambio varía a lo largo del fenómeno estudiado. Esta gradualidad permite al estudiante consolidar primero la lógica fundamental de la variación conjunta entre magnitudes, antes de enfrentar la complejidad adicional que introducen las relaciones cuantitativas no lineales presentes en numerosos fenómenos físicos del bachillerato.

Consolidar esta base resulta particularmente importante porque numerosas dificultades posteriores del estudiante con las funciones no lineales, examinadas en la subsección siguiente, se originan precisamente en una comprensión insuficiente de la proporcionalidad simple, lo que evidencia la importancia de no apresurar esta etapa fundamental del aprendizaje integrado. Un diagnóstico breve al inicio del curso, centrado en situaciones cotidianas de proporcionalidad como el precio por kilogramo o la velocidad media de un trayecto, permite al docente detectar tempranamente qué estudiantes arrastran vacíos en esta base y

reforzarla antes de avanzar hacia contenidos que la dan por sentada. Invertir tiempo en esta etapa temprana suele ahorrar considerablemente más tiempo de remediación en cursos posteriores.

1.3.3. Funciones asociadas al comportamiento de sistemas

Las funciones matemáticas permiten formalizar la relación entre las variables de un sistema físico, capturando de manera precisa cómo el comportamiento de una magnitud depende del valor que adopta otra magnitud relacionada dentro del mismo sistema estudiado en el aula. El estudio de funciones lineales, cuadráticas, exponenciales y trigonométricas cobra sentido pedagógico particular cuando se vincula explícitamente con los sistemas físicos que dichas funciones modelan, tales como el movimiento rectilíneo uniforme, la caída libre, el decaimiento radiactivo o los fenómenos ondulatorios periódicos.

Esa vinculación entre tipo de función y comportamiento físico permite al alumno anticipar, a partir de la forma general de una función, el comportamiento cualitativo esperado del sistema, competencia particularmente valiosa para interpretar fenómenos no estudiados previamente en el aula. Dicha capacidad anticipatoria se desarrolla progresivamente cuando el docente presenta, a lo largo del curso, una variedad amplia de sistemas físicos que comparten una misma familia de funciones, permitiendo al estudiante reconocer patrones estructurales comunes más allá de la superficie particular de cada problema. Un joven que reconoce que tanto el movimiento uniformemente acelerado como el área de una superficie cuadrada responden a funciones cuadráticas, pese a tratarse de fenómenos físicos completamente distintos, ha alcanzado un nivel de abstracción que trasciende la memorización de fórmulas aisladas y que constituye uno de los objetivos formativos centrales de la enseñanza integrada.

Reconocer familias funcionales compartidas entre fenómenos físicos aparentemente distintos constituye, en definitiva, uno de los

puentes conceptuales más valiosos entre Matemáticas y Física, permitiendo que el aprendizaje de una función matemática rinda beneficios formativos que se extienden considerablemente más allá del contexto físico particular en que fue inicialmente presentada. Este tipo de transferencia resulta especialmente útil de cara a estudios posteriores, ya sea en ingeniería, ciencias de la salud o economía, donde las mismas familias de funciones reaparecen bajo nombres y contextos distintos; el estudiante que aprendió a reconocerlas más allá de la etiqueta específica de cada asignatura llega mejor preparado a esas nuevas exigencias académicas.

1.3.4. Patrones matemáticos presentes en fenómenos naturales

Los patrones matemáticos que emergen recurrentemente en fenómenos naturales, tales como la periodicidad de las ondas, la simetría de las estructuras cristalinas o las proporciones presentes en el crecimiento biológico, ofrecen al docente oportunidades valiosas para conectar el estudio abstracto de las matemáticas con manifestaciones concretas del mundo natural. Reconocer estos patrones fortalece la comprensión del estudiante de que las matemáticas no constituyen un sistema arbitrario y descontextualizado, sino una herramienta que refleja regularidades genuinas presentes en la estructura misma de los fenómenos que la física se propone estudiar y explicar.

Esta perspectiva sobre los patrones naturales se conecta directamente con la perspectiva STEAM examinada en la sección anterior, particularmente con la dimensión creativa que permite al estudiante apreciar la belleza y elegancia de las regularidades matemáticas presentes en el mundo físico que lo rodea. El docente puede aprovechar esta conexión organizando salidas de campo o actividades de observación directa donde los estudiantes identifiquen por sí mismos patrones presentes en su entorno inmediato, tales como la disposición espiral de las semillas de un girasol o la simetría

hexagonal de un panal de abejas, antes de formalizarlos mediante las herramientas matemáticas estudiadas en clase. Esta experiencia de descubrimiento fortalece considerablemente la motivación del alumnado hacia el estudio de las matemáticas, al evidenciar que dichos patrones no constituyen construcciones arbitrarias del pensamiento humano, sino regularidades genuinas inscritas en la estructura misma de la naturaleza observable.

La fotografía científica, tomada por los propios estudiantes durante estas salidas, ofrece además un registro que después puede analizarse en el aula con herramientas de medición y proporción, cerrando el ciclo entre la observación en el entorno natural y su tratamiento matemático riguroso dentro de la clase.

1.3.5. Relaciones entre ecuaciones y comportamiento físico

Las ecuaciones que describen sistemas físicos condensan, en una expresión matemática compacta, la totalidad de relaciones cuantitativas que gobiernan el comportamiento del sistema estudiado, constituyendo así el punto de encuentro más explícito entre el formalismo matemático y la física del fenómeno representado. La Tabla 4 presenta ejemplos de relaciones entre ecuaciones y comportamientos físicos estudiados habitualmente en bachillerato, ilustrando cómo cada término de una ecuación física corresponde a una magnitud, variable o parámetro específico cuya interpretación resulta indispensable para comprender genuinamente el fenómeno representado.

Leer físicamente una ecuación, término por término, constituye una competencia distinta de su manipulación algebraica, exigiendo del estudiante detenerse en cada símbolo para preguntarse qué representa dentro del sistema estudiado y por qué su presencia en esa posición particular resulta físicamente coherente. Esta práctica de

lectura detenida, aunque inicialmente más lenta que la aplicación mecánica de fórmulas memorizadas, fortalece considerablemente la comprensión conceptual del estudiante y reduce significativamente los errores que surgen de aplicar ecuaciones fuera de su contexto de validez. Pedir al estudiante que, antes de sustituir valores, explique en voz alta o por escrito qué significa cada símbolo de la ecuación en el problema concreto que enfrenta constituye una de las estrategias más simples y efectivas para instalar este hábito de lectura física, y puede aplicarse de manera sistemática en cualquier evaluación o guía de ejercicios.

Con este análisis se cierran las relaciones cuantitativas fundamentales para interpretar sistemas físicos con rigor matemático. La sección siguiente examina las representaciones, complementarias a las ecuaciones, que permiten explicar la realidad físico-matemática desde perspectivas gráficas, diagramáticas y algebraicas diversas.

Tabla 4

Ejemplos de relaciones entre ecuaciones y comportamientos físicos

Ecuación	Comportamiento físico descrito	Tipo de función
Posición en función del tiempo (MRU)	Movimiento rectilíneo a velocidad constante	Lineal
Posición en caída libre	Aceleración constante por efecto de la gravedad	Cuadrática
Desintegración radiactiva	Disminución progresiva de una cantidad inicial	Exponencial
Elongación de un péndulo simple	Oscilación periódica en torno a una posición	Trigonométrica

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.4. Representaciones para explicar la realidad físico-matemática

Las representaciones constituyen los medios concretos mediante los cuales el conocimiento matemático y físico se hace visible, comunicable y manipulable dentro del proceso de enseñanza y aprendizaje, complementando el estudio de ecuaciones examinado en la sección anterior con formas visuales y simbólicas adicionales. Cinco tipos de representaciones se examinan a continuación: los diagramas y esquemas de situaciones físicas, las gráficas para analizar cambios y relaciones, las expresiones algebraicas como formas de explicación, la correspondencia entre datos, gráficos y ecuaciones, y los alcances y límites de las representaciones utilizadas en el aula.

1.4.1. Diagramas y esquemas de situaciones físicas

Los diagramas y esquemas constituyen representaciones visuales simplificadas de una situación física, permitiendo al estudiante identificar los elementos relevantes del sistema estudiado, tales como fuerzas, trayectorias o interacciones, sin la complejidad adicional de los detalles superfluos presentes en el fenómeno real. Esta simplificación deliberada no constituye una pérdida de rigor, sino una estrategia pedagógica que facilita la comprensión inicial del fenómeno, permitiendo que el estudiante concentre su atención en las relaciones físicas fundamentales antes de abordar la formalización matemática completa del sistema.

Dominar progresivamente estas herramientas diagramáticas constituye un prerequisite importante para el análisis posterior de situaciones físicas más complejas, donde la capacidad de esquematizar correctamente el problema determina, en buena medida, la posibilidad de resolverlo con éxito. Esta capacidad se desarrolla mediante práctica sostenida y retroalimentación docente oportuna, comenzando con situaciones físicas relativamente simples donde el estudiante identifica pocos elementos relevantes, para

avanzar gradualmente hacia sistemas más complejos que involucran múltiples fuerzas, cuerpos o interacciones simultáneas. Un error frecuente entre principiantes consiste en incluir en el diagrama detalles irrelevantes para el análisis propuesto, práctica que el docente debe corregir progresivamente mediante preguntas que exijan justificar por qué cada elemento incluido resulta efectivamente necesario para comprender el fenómeno estudiado.

1.4.2. Gráficas para analizar cambios y relaciones

Las gráficas permiten visualizar de manera inmediata cómo cambia una magnitud física en función de otra, ofreciendo información sobre tendencias, tasas de cambio y comportamientos globales del sistema que resultarían considerablemente más difíciles de percibir a partir de tablas de datos numéricos aislados. Juárez Lucas y García Camacho (2026) documentan que la enseñanza tradicional de matemáticas y física tiende a priorizar los procedimientos algebraicos por encima de la visualización gráfica, limitando así la comprensión conceptual que dicha visualización podría aportar al proceso de aprendizaje del estudiante de secundaria.

Interpretar gráficas con competencia exige del alumno una comprensión que trasciende la simple lectura de valores puntuales, requiriendo el reconocimiento de pendientes, áreas bajo la curva, puntos de inflexión y otras características globales que aportan información física sustantiva sobre el comportamiento del sistema representado. Fortalecer esta interpretación gráfica se beneficia considerablemente del uso de herramientas tecnológicas de graficación dinámica, que permiten al estudiante manipular parámetros y observar en tiempo real cómo dichos cambios modifican la forma de la gráfica, favoreciendo una comprensión experiencial que trasciende la observación de gráficas estáticas presentadas en el libro de texto. Esta manipulación dinámica constituye, además, un puente natural hacia los recursos digitales de exploración examinados con

mayor profundidad en el Capítulo 3 de esta obra, dedicado específicamente a la simulación y programación aplicadas a la enseñanza científica.

Anticipar así los recursos digitales que se desarrollan más adelante en la obra evidencia la coherencia progresiva de su estructura general, donde cada capítulo retoma y profundiza herramientas y competencias introducidas de manera preliminar en capítulos precedentes, evitando la fragmentación temática que caracteriza a numerosos materiales didácticos convencionales.

1.4.3. Expresiones algebraicas como formas de explicación

Las expresiones algebraicas constituyen una forma de explicación que condensa relaciones físicas complejas en notaciones compactas y manipulables, permitiendo al estudiante realizar predicciones, resolver problemas y transferir relaciones aprendidas hacia situaciones nuevas mediante la sustitución sistemática de valores específicos. Esta función explicativa del álgebra exige, sin embargo, que el alumno comprenda el significado físico de cada símbolo y operación involucrada, evitando una manipulación puramente mecánica de las expresiones que, aunque procedimentalmente correcta, carece de la comprensión conceptual necesaria para su aplicación flexible en contextos nuevos.

Fortalecer esta comprensión requiere estrategias didácticas que exijan al estudiante justificar verbalmente el significado físico de cada paso algebraico realizado, práctica que refuerza considerablemente la articulación entre el formalismo simbólico y el fenómeno físico que dicho formalismo pretende representar y explicar. Esta justificación verbal puede incorporarse sistemáticamente mediante actividades donde el estudiante trabaja en parejas, explicando a su compañero el significado físico de cada manipulación algebraica antes de proceder al siguiente paso, estrategia que además

fortalece competencias comunicativas valiosas para la divulgación científica examinada posteriormente en el Capítulo 2 de esta obra. Esta práctica colaborativa revela con frecuencia vacíos de comprensión que permanecerían ocultos si el estudiante trabajara únicamente de manera individual y silenciosa sobre el problema algebraico planteado.

1.4.4. Correspondencia entre datos, gráficos y ecuaciones

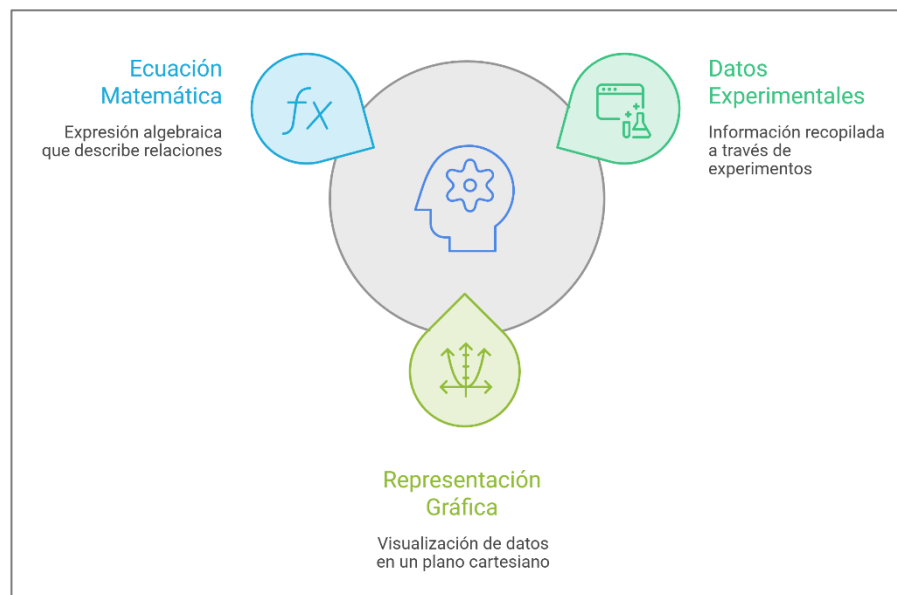
La correspondencia entre datos experimentales, representaciones gráficas y ecuaciones matemáticas constituye una competencia integradora que sintetiza las representaciones examinadas en las subsecciones anteriores, exigiendo del estudiante la capacidad de transitar fluidamente entre estos tres registros complementarios. La Figura 3 representa dicha correspondencia entre datos, gráficos y ecuaciones, ilustrando cómo un mismo conjunto de datos experimentales puede representarse gráficamente mediante una curva característica, y cómo dicha curva puede a su vez formalizarse mediante una ecuación que captura matemáticamente el comportamiento observado en el fenómeno estudiado.

Esta capacidad de tránsito fluido entre registros constituye, según documentan Testa y Catena (2022), uno de los indicadores más confiables de comprensión genuina en la enseñanza integrada de matemáticas y física, distinguiendo a los estudiantes que dominan conceptualmente el contenido de aquellos que únicamente memorizan procedimientos aislados. Diseñar actividades que exijan explícitamente este tránsito, tales como pedir al estudiante que, a partir de una tabla de datos, construya la gráfica correspondiente y luego proponga la ecuación que mejor la describe, permite al docente evaluar de manera integral la comprensión del alumno, superando las limitaciones de las evaluaciones tradicionales que examinan cada registro de manera aislada. Esta evaluación integrada resulta particularmente valiosa para identificar tempranamente vacíos de

comprensión que podrían pasar desapercibidos si cada registro se evaluara por separado y sin exigir su articulación conjunta.

Figura 3

Correspondencia entre datos, gráficos y ecuaciones



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.4.5. Alcances y límites de las representaciones utilizadas

Todo tipo de representación examinado en esta sección presenta alcances y límites específicos que el docente debe reconocer y comunicar explícitamente al estudiante, evitando que este atribuya a la representación una capacidad explicativa mayor de la que efectivamente posee dentro del contexto particular estudiado. Los diagramas simplifican la realidad omitiendo detalles considerados irrelevantes para el análisis particular, las gráficas capturan comportamientos dentro de un rango limitado de valores, y las

ecuaciones frecuentemente incorporan supuestos simplificadores cuya validez debe verificarse antes de aplicarlas a un contexto físico nuevo.

Cultivar esta conciencia sobre los límites de cada representación debe iniciarse desde las primeras experiencias del estudiante con dichas herramientas, evitando que desarrolle una confianza excesiva en la representación como reflejo exacto y completo del fenómeno físico, cuando en realidad constituye siempre una simplificación deliberada construida con un propósito pedagógico específico. Un alumno que comprende estos límites desarrolla, además, mayor capacidad crítica para evaluar representaciones que encuentre fuera del contexto escolar, competencia particularmente valiosa en un entorno saturado de información gráfica y visual de calidad desigual.

Esa comprensión crítica sobre los alcances y límites de cada representación prepara al estudiante para la modelización de situaciones científico-matemáticas examinada en la sección siguiente, donde la selección de supuestos y simplificaciones apropiadas constituye una competencia central del proceso de construcción de modelos.

1.5. Modelización de situaciones científico-matemáticas

La modelización de situaciones científico-matemáticas cierra el capítulo integrando los componentes examinados en las secciones anteriores dentro de un proceso completo que transita desde el fenómeno observable hasta su formalización matemática rigurosa. Jara Cango et al. (2025) documentan que la modelación matemática, cuando se implementa como estrategia didáctica deliberada, mejora significativamente la comprensión de conceptos que tradicionalmente se enseñan de manera descontextualizada. Cinco componentes de este proceso se abordan en las páginas siguientes: el tránsito del

fenómeno observable a su formulación matemática, los supuestos y simplificaciones involucrados en la construcción de modelos, la formulación de relaciones entre variables, la validación del modelo mediante datos y comportamiento esperado, y la revisión del modelo frente a nuevas condiciones.

1.5.1. Del fenómeno observable a su formulación matemática

El tránsito desde un fenómeno observable hasta su formulación matemática constituye el origen del proceso de modelización, exigiendo del estudiante identificar cuáles son las variables relevantes del fenómeno estudiado y cómo dichas variables podrían relacionarse matemáticamente entre sí de manera coherente. La Figura 4 representa este tránsito desde el fenómeno observable hasta la formulación matemática, ilustrando las etapas intermedias de identificación de variables relevantes, formulación de conjeturas sobre su relación, y traducción de dichas conjeturas hacia una expresión matemática formal y verificable.

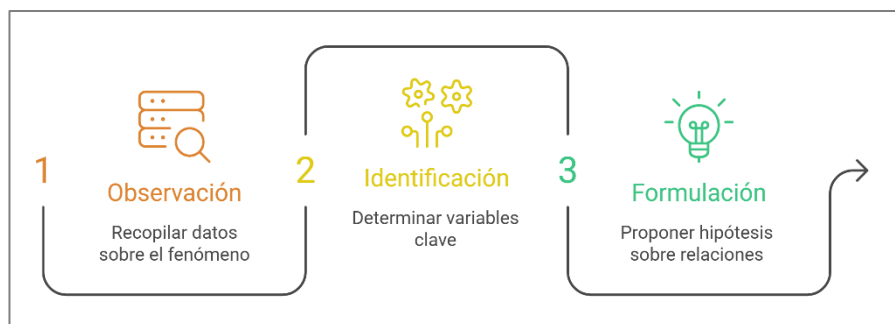
Este proceso exige del docente diseñar experiencias graduales que acompañen al estudiante en cada una de estas etapas, evitando presentar el modelo matemático final como un producto acabado sin mostrar el proceso de construcción que llevó a su formulación.

Esa gradualidad resulta particularmente importante durante las primeras experiencias de modelización del estudiante, quien suele enfrentar considerable dificultad al decidir qué variables incluir en su modelo inicial y cuáles descartar por resultar poco relevantes para el fenómeno estudiado. El acompañamiento docente durante esta etapa temprana, mediante preguntas orientadoras que ayuden al estudiante a justificar sus decisiones de inclusión y exclusión, resulta considerablemente más valioso que proporcionar directamente el conjunto correcto de variables relevantes sin que el estudiante participe activamente en dicha decisión.

Este acompañamiento mediante preguntas orientadoras constituye, en definitiva, una estrategia pedagógica transferible a la totalidad de las etapas de modelización examinadas en esta sección, reforzando en cada momento la autonomía progresiva del estudiante frente a un proceso que, en última instancia, deberá poder ejecutar de manera cada vez más independiente. Con el tiempo, el docente puede ir retirando gradualmente estas preguntas guía, comprobando si el propio estudiante es capaz de formularse a sí mismo antes de comenzar un nuevo modelo; esa transferencia progresiva de la responsabilidad constituye, precisamente, el indicador más claro de que la autonomía buscada se está consolidando.

Figura 4

Del fenómeno observable a la formulación matemática



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.5.2. Supuestos y simplificaciones en la construcción de modelos

Todo modelo matemático de un fenómeno físico incorpora supuestos y simplificaciones que reducen la complejidad del fenómeno real a un conjunto manejable de variables y relaciones, decisión metodológica indispensable que permite avanzar en el análisis sin verse abrumado por la totalidad de factores que intervienen en la situación real. La Tabla 5 sistematiza los supuestos y

simplificaciones más frecuentes en la construcción de modelos físico-matemáticos estudiados en bachillerato, tales como despreciar la resistencia del aire, considerar cuerpos como partículas puntuales, o asumir condiciones ideales de temperatura y presión constantes.

Reconocer explícitamente estos supuestos resulta fundamental para que el estudiante comprenda los límites de validez del modelo construido, evitando la aplicación acrítica de dicho modelo a situaciones donde los supuestos simplificadores originales ya no resultan razonablemente aplicables. Esta práctica de explicitación puede incorporarse sistemáticamente como un paso obligatorio dentro de cualquier actividad de modelización propuesta en el aula, exigiendo al estudiante enumerar por escrito las simplificaciones adoptadas antes de proceder a resolver el modelo matemático construido. Esta exigencia formativa, aunque pueda percibirse inicialmente como un paso adicional que ralentiza la resolución del problema, constituye en realidad una de las competencias más transferibles que el estudiante puede desarrollar, puesto que la identificación de supuestos resulta igualmente relevante en contextos científicos, tecnológicos y de ingeniería más allá del aula de bachillerato.

Tabla 5

Supuestos y simplificaciones frecuentes en la construcción de modelos

Supuesto simplificador	Fenómeno físico asociado	Condición de validez
Ausencia de resistencia del aire	Movimiento de proyectiles	Válido para velocidades bajas y objetos densos
Cuerpo puntual	Análisis de trayectorias	Válido cuando las dimensiones del objeto son despreciables
Condiciones ideales de temperatura y presión	Comportamiento de gases	Válido en rangos moderados de temperatura y presión

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

1.5.3. Formulación de relaciones entre variables

La formulación de relaciones entre variables constituye el núcleo técnico del proceso de modelización, exigiendo del estudiante traducir las conjeturas cualitativas sobre el comportamiento del fenómeno hacia expresiones matemáticas precisas que capturen dicho comportamiento de manera cuantificable y manipulable. Esta formulación se apoya considerablemente en los tipos de funciones examinados en la subsección 1.3.3 de este capítulo, requiriendo del estudiante reconocer qué forma funcional resulta más apropiada para representar la relación conjeturada entre las variables identificadas en el fenómeno.

Desarrollar esta competencia formulativa requiere práctica sostenida con fenómenos progresivamente más complejos, comenzando por relaciones simples de proporcionalidad directa y avanzando gradualmente hacia relaciones que involucran múltiples variables interrelacionadas dentro de un mismo sistema físico estudiado. Esta progresión debe además contemplar espacios de retroalimentación oportuna, donde el docente revisa las formulaciones propuestas por los estudiantes antes de que avancen hacia la validación del modelo, identificando tempranamente errores conceptuales que, de no corregirse a tiempo, podrían consolidarse y dificultar considerablemente el aprendizaje de contenidos posteriores más avanzados dentro de la secuencia curricular de Matemáticas y Física.

1.5.4. Validación mediante datos y comportamiento esperado

La validación de un modelo matemático mediante datos experimentales y comportamiento esperado constituye el paso que verifica si la formulación construida efectivamente representa de manera adecuada el fenómeno físico que pretende describir, contrastando las predicciones del modelo con la evidencia empírica

disponible. Este proceso exige del estudiante una actitud crítica hacia su propio modelo, dispuesto a reconocer discrepancias entre lo predicho y lo observado, y a interpretar dichas discrepancias como información valiosa sobre las limitaciones del modelo construido, en lugar de descartarlas como simples errores de medición.

Esta actitud crítica resulta particularmente difícil de cultivar en estudiantes acostumbrados a modelos de evaluación donde el error se percibe exclusivamente como fracaso, razón por la cual el docente debe reencuadrar deliberadamente la discrepancia como una oportunidad de aprendizaje legítima dentro del proceso científico, y no como una señal de incompetencia del estudiante. Ese reencuadre pedagógico fortalece la disposición del alumno a exponer y discutir abiertamente las limitaciones de su propio trabajo, actitud fundamental para el desarrollo de una comunidad de aprendizaje científico genuina dentro del aula.

Esta comunidad de aprendizaje, donde el error se discute abiertamente como parte natural del proceso investigativo, constituye además una preparación valiosa para la argumentación a partir de resultados experimentales que se desarrolla con mayor profundidad en la sección 2.5 del Capítulo 2 de esta obra, particularmente en lo relativo a la evaluación de discrepancias entre lo esperado y lo efectivamente observado. Instaurar rituales sencillos, como dedicar los últimos minutos de cada sesión de laboratorio a comentar abiertamente qué no salió como se esperaba y por qué, ayuda a normalizar esta cultura del error productivo mucho antes de que el estudiante enfrente la investigación experimental más formal del capítulo siguiente.

1.5.5. Revisión del modelo frente a nuevas condiciones

La revisión del modelo frente a nuevas condiciones cierra el ciclo de modelización examinado en esta sección, reconociendo que un modelo matemático construido para un conjunto particular de

condiciones puede requerir ajustes cuando se aplica a situaciones que exceden el rango original de validez considerado. Esta capacidad de revisión constituye, en definitiva, una competencia científica central que trasciende el contenido específico de matemáticas y física, preparando al estudiante para comprender que el saber científico se construye de manera provisional y perfectible, sujeto siempre a revisión ante nueva evidencia disponible.

Esta comprensión provisional del conocimiento científico constituye, quizás, uno de los aprendizajes actitudinales más valiosos que el enfoque STEAM puede ofrecer al alumnado de bachillerato, alejándolo de una visión dogmática de la ciencia como un cuerpo fijo e inmutable de verdades, y acercándolo en cambio a una comprensión más precisa y epistemológicamente honesta sobre cómo efectivamente avanza el conocimiento a lo largo del tiempo. Esta honestidad epistemológica, cultivada a lo largo de todo el proceso de modelización examinado en esta sección, prepara al estudiante para abordar con criterio crítico y fundamentado la investigación experimental que se desarrolla en el Capítulo 2 de esta obra, donde la revisión constante de hipótesis frente a nueva evidencia constituye una práctica central del quehacer científico escolar.

Con este cierre culmina el primer capítulo, que ha desarrollado las bases epistemológicas, la perspectiva STEAM, las relaciones cuantitativas, las representaciones y el proceso de modelización que fundamentan la enseñanza integrada de Matemáticas y Física. El Capítulo 2 de esta obra avanza hacia la investigación experimental, mostrando cómo estos fundamentos conceptuales se traducen en procedimientos concretos de indagación científica en el aula. Este primer capítulo ha establecido el marco conceptual necesario para comprender la enseñanza integrada de Matemáticas y Física, examinando las bases epistemológicas que sostienen ambas disciplinas, la perspectiva STEAM que las articula con la tecnología, la

ingeniería y el arte, las relaciones cuantitativas que permiten interpretar sistemas físicos, las representaciones que explican la realidad físico-matemática y el proceso de modelización que integra estos componentes.

La introducción del enfoque STEAM en la sección 1.2 no pretende agotar el tema, sino sentar las bases para el desarrollo que se realiza a lo largo de los capítulos siguientes de esta obra, comenzando por el Capítulo 2, dedicado a la investigación experimental y el análisis cuantitativo de fenómenos físicos, donde estos fundamentos conceptuales se traducen en procedimientos concretos de indagación científica. El profesorado de bachillerato y educación media que consulte esta obra encontrará, en estas páginas iniciales, un marco conceptual riguroso que orienta la comprensión de los capítulos posteriores, dedicados progresivamente a la investigación experimental, la simulación y programación, el diseño de ingeniería, y la evaluación de desempeños en escenarios STEAM aplicados al aula.

Antes de avanzar hacia el Capítulo 2, conviene retener tres ideas que atraviesan de manera transversal el presente capítulo: primero, que las matemáticas y la física constituyen formas de conocimiento complementarias y no equivalentes; segundo, que el enfoque STEAM exige una convergencia genuina y no una yuxtaposición superficial de disciplinas; y tercero, que la modelización constituye el proceso integrador que articula ambas formas de saber en la comprensión de fenómenos científicos reales.



CAPÍTULO 2

Investigación Experimental y Análisis Cuantitativo de Fenómenos Físicos

Capítulo 2. Investigación Experimental y Análisis Cuantitativo de Fenómenos Físicos

El primer capítulo de esta obra estableció los fundamentos epistemológicos, la perspectiva STEAM, las relaciones cuantitativas, las representaciones y el proceso de modelización que sostienen la enseñanza integrada de Matemáticas y Física. Este segundo capítulo traduce ese marco conceptual hacia la práctica concreta del laboratorio y del aula, examinando cómo un joven de bachillerato puede formular problemas investigables, medir con rigor, tratar matemáticamente sus datos, experimentar en distintos campos de la física y argumentar a partir de la evidencia obtenida.

El propósito de estas páginas es ofrecer al profesorado herramientas concretas para guiar la investigación experimental escolar, superando la imagen simplificada de un método científico lineal y transformándola en una secuencia flexible de indagación. Altaufay Rojas et al. (2024) documentan que las metodologías activas basadas en la indagación guiada fortalecen de manera significativa las habilidades científicas del alumnado, siempre que dicha indagación se estructure con suficiente andamiaje pedagógico y no se deje librada a la improvisación. El capítulo se organiza en cinco secciones. La primera examina la formulación de problemas susceptibles de investigación. La segunda desarrolla la medición y la obtención de evidencia empírica. La tercera aborda el tratamiento matemático de los datos experimentales. La cuarta recorre la experimentación en distintos campos de la física, y la quinta cierra el capítulo con la argumentación a partir de los resultados obtenidos.

La tesis que atraviesa este capítulo sostiene que la investigación experimental escolar cobra su valor formativo pleno cuando se aborda como un ciclo completo, desde la pregunta inicial hasta la comunicación de hallazgos, y no como una sucesión de pasos aislados que culminan en un informe técnico. Este ciclo completo

constituye, además, el terreno donde los fundamentos matemáticos y físicos examinados en el capítulo anterior se ponen genuinamente a prueba. A lo largo de este recorrido, el lector encontrará referencias constantes hacia las subsecciones específicas del Capítulo 1 donde cada herramienta matemática fue introducida por primera vez, confirmando que la investigación experimental no reemplaza el trabajo conceptual previo, sino que lo pone en juego dentro de un contexto genuinamente productivo para el aprendizaje del bachillerato.

2.1. Formulación de problemas susceptibles de investigación

Formular un problema investigable constituye el primer eslabón de cualquier indagación científica escolar, y con frecuencia el más descuidado en la práctica del aula, donde se tiende a entregar al alumnado preguntas ya cerradas en lugar de acompañarlo en su construcción. Ortega-Ruiz y Villalobos (2024) documentan que uno de los principales desafíos curriculares en América Latina consiste precisamente en habilitar espacios donde los jóvenes puedan formular sus propias preguntas, en lugar de limitarse a verificar respuestas ya conocidas por el docente.

Cinco componentes de esta formulación se examinan a continuación: la observación sistemática de situaciones físicas, la construcción de preguntas investigables, la identificación y el control de variables, la elaboración de hipótesis verificables y la planificación del procedimiento experimental que pondrá a prueba dichas hipótesis. Estos cinco componentes no siguen necesariamente un orden estrictamente lineal en la práctica del aula; con frecuencia el estudiante regresa sobre una etapa anterior conforme avanza en las siguientes, ajustando su pregunta inicial a la luz de las variables que logra identificar o revisando su hipótesis al planificar el procedimiento experimental concreto.

2.1.1. Observación sistemática de situaciones físicas

La observación sistemática difiere sustancialmente de la mirada casual con la que cualquier persona percibe un fenómeno cotidiano, exigiendo del alumno un registro deliberado de aquello que observa, las condiciones en que lo observa y los cambios que percibe a lo largo del tiempo en la situación estudiada. Esta sistematicidad no surge de manera espontánea; requiere que el docente proponga guías de observación con preguntas orientadoras que dirijan la atención del estudiante hacia aspectos relevantes del fenómeno, sin por ello anticipar la conclusión a la que debería llegar tras dicha observación.

Una práctica sencilla más efectiva consiste en pedir al alumnado que registre por escrito, antes de cualquier intervención docente, tres preguntas que le surgen al observar un fenómeno determinado; este ejercicio revela con frecuencia una curiosidad genuina que el formato tradicional de clase expositiva rara vez logra despertar. Esta observación inicial no busca todavía formular explicaciones, sino simplemente acumular información confiable sobre el comportamiento del sistema físico, insumo indispensable para la construcción de preguntas investigables que se aborda en la subsección siguiente.

Involucrar al alumnado en observaciones de fenómenos cotidianos, más allá del laboratorio formal, como el movimiento del tráfico frente a la escuela o el comportamiento de la sombra de un poste a distintas horas del día, amplía el repertorio de situaciones que el joven reconoce como susceptibles de estudio científico riguroso, y no reserva dicho estatus exclusivamente para los montajes especializados del laboratorio.

2.1.2. Construcción de preguntas investigables

No toda pregunta que surge de la observación resulta investigable dentro de las condiciones reales de un laboratorio escolar; una pregunta investigable debe referirse a magnitudes medibles, admitir un procedimiento experimental factible con los recursos disponibles y permitir respuestas contrastables con evidencia. Distinguir entre preguntas descriptivas, que indagan cómo ocurre un fenómeno, y preguntas causales, que indagan por qué ocurre de esa manera, ayuda al estudiante a precisar el alcance real de su indagación y a evitar formulaciones demasiado ambiciosas para el tiempo y los materiales de que dispone.

El docente cumple aquí un papel de mediador, ayudando al joven a reformular preguntas inicialmente vagas o inabordables hacia versiones más precisas, sin sustituir por completo la pregunta original del estudiante ni imponerle una formulación ajena a su curiosidad inicial. Esta reformulación conjunta constituye, en la práctica, una de las conversaciones más valiosas de todo el proceso investigativo, porque obliga al estudiante a explicitar qué es exactamente lo que quiere saber y por qué considera que esa pregunta merece ser indagada de manera rigurosa.

Compartir con el grupo completo algunas de estas preguntas reformuladas, antes de que cada equipo avance por separado, permite además que los estudiantes aprendan unos de otros los criterios que distinguen una pregunta bien planteada de una que todavía requiere ajustes, aprendizaje que transferirán con mayor autonomía en investigaciones futuras. Con el tiempo, y tras varias experiencias de este tipo, el docente puede ir reduciendo gradualmente su intervención directa en la reformulación, cediendo mayor responsabilidad al propio estudiante para que evalúe primero, junto a sus compañeros de

equipo, si su pregunta cumple los criterios de investigabilidad antes de someterla a la revisión final del profesor.

2.1.3. Identificación y control de variables

Toda pregunta investigable involucra magnitudes que cambian, permanecen constantes o se miden como resultado del fenómeno estudiado; distinguir estos tres papeles constituye un paso técnico indispensable antes de diseñar cualquier procedimiento experimental. La Tabla 6 sistematiza los tipos de variables y las formas de control habituales en una investigación experimental escolar, diferenciando la variable independiente, que el estudiante manipula deliberadamente, de la variable dependiente, que se mide como consecuencia de dicha manipulación, y de las variables extrañas, que deben mantenerse constantes para no distorsionar los resultados.

El control efectivo de estas variables extrañas suele ser el aspecto más descuidado por los jóvenes que se inician en la experimentación, quienes con frecuencia modifican más de una condición a la vez sin advertir que ello impide atribuir con certeza los resultados obtenidos a una causa específica. Enseñar explícitamente a aislar una única variable por vez, mediante ejemplos sencillos antes de abordar sistemas más complejos, constituye una de las inversiones didácticas más rentables dentro de la formación experimental temprana del bachillerato.

Un ejercicio útil para instalar esta lógica consiste en presentar al alumnado un experimento mal diseñado, donde se modifican dos condiciones a la vez, y pedirle que identifique por qué resulta imposible atribuir con certeza el resultado observado a una sola de esas condiciones; este tipo de análisis crítico suele consolidar la idea con mayor eficacia que una simple advertencia teórica sobre la importancia del control de variables.

Tabla 6*Tipos de variables y formas de control en una investigación experimental*

Tipo de variable	Función en el experimento	Forma de control sugerida
Independiente	Se manipula deliberadamente	Definir valores específicos a probar
Dependiente	Se mide como resultado de la manipulación	Registrar con instrumentos calibrados
Extraña o de control	Puede distorsionar los resultados si cambia	Mantener constante durante todo el experimento

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

2.1.4. Elaboración de hipótesis verificables

Una hipótesis verificable enuncia una relación esperada entre las variables identificadas, formulada de manera suficientemente precisa como para admitir un contraste claro con los datos que se obtendrán durante el experimento. Las hipótesis vagas o excesivamente generales, tales como afirmar que dos magnitudes están relacionadas sin especificar de qué manera, dificultan enormemente la interpretación posterior de los resultados y deben transformarse en enunciados que anticipen, aunque sea de manera aproximada, el sentido y la magnitud esperada de dicha relación.

Pedir al estudiante que justifique su hipótesis a partir de un razonamiento previo, y no únicamente a partir de una intuición sin fundamento, refuerza la conexión entre esta etapa y los contenidos teóricos examinados en el Capítulo 1 de esta obra, particularmente en lo relativo a la construcción de conceptos a partir de evidencias. Esta exigencia de fundamentar la hipótesis, lejos de restarle espontaneidad al proceso investigativo, ayuda al joven a reconocer qué sabe ya sobre el fenómeno y qué necesita todavía verificar mediante la experimentación planificada.

Registrar por escrito la hipótesis antes de iniciar el experimento, y conservar dicho registro sin modificaciones posteriores, evita además la tentación de reinterpretar retrospectivamente la hipótesis original para que coincida artificialmente con los resultados finalmente obtenidos, práctica que compromete seriamente la honestidad del proceso investigativo. Esta disciplina de registro previo, aunque pueda parecer un formalismo menor, constituye en realidad una de las primeras lecciones de ética científica que el estudiante de bachillerato puede internalizar, anticipando exigencias que encontrará de manera mucho más formal en cualquier trayectoria posterior vinculada a la investigación científica o tecnológica.

2.1.5. Planificación del procedimiento experimental

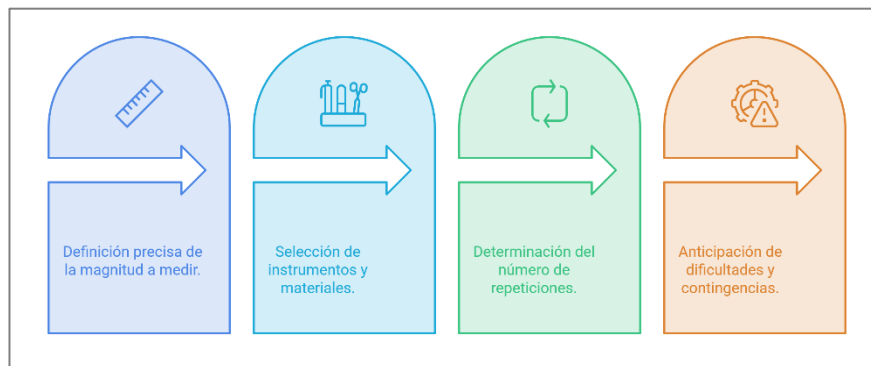
Planificar el procedimiento experimental traduce la hipótesis y las variables identificadas en una secuencia concreta de pasos, materiales e instrumentos que permitirán poner a prueba dicha hipótesis de manera confiable y replicable. La Figura 5 representa las fases de planificación de un procedimiento experimental, ilustrando el tránsito desde la definición precisa de qué se va a medir, pasando por la selección de instrumentos y la determinación del número de repeticiones necesarias, hasta la anticipación de posibles dificultades durante la ejecución.

Anticipar estas dificultades antes de llegar al laboratorio, mediante una discusión grupal sobre qué podría salir mal y cómo se abordaría cada contingencia, reduce considerablemente el tiempo perdido durante la sesión experimental y fortalece la autonomía del estudiante frente a imprevistos reales. Esta planificación puede documentarse mediante un protocolo escrito breve, revisado por el docente antes de autorizar el inicio de la sesión práctica, mecanismo que además permite detectar con antelación errores conceptuales en el diseño experimental que resultarían mucho más costosos de corregir una vez iniciada la recolección de datos.

Un formato sencillo de protocolo, con apartados fijos para la pregunta, la hipótesis, las variables, los materiales y los pasos previstos, ofrece además al estudiante una estructura reutilizable que podrá aplicar de manera cada vez más autónoma en investigaciones posteriores, sin depender de instrucciones específicas para cada nuevo experimento propuesto en el curso. Esta sección ha desarrollado el tránsito desde la observación inicial hasta un procedimiento experimental planificado con rigor. La sección siguiente examina la medición propiamente dicha, momento en el cual dicho procedimiento se pone efectivamente en marcha para obtener evidencia empírica confiable.

Figura 5

Fases de planificación de un procedimiento experimental



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

2.2. Medición y obtención de evidencia empírica

La medición traduce el mundo físico en números susceptibles de análisis matemático, constituyendo el puente concreto entre el fenómeno observado y el tratamiento cuantitativo que se examina en la sección siguiente de este capítulo. Cano U. et al. (2011) documentan que enseñar explícitamente a estimar la incertidumbre asociada a cada

medición, y no solamente a obtener un valor numérico, transforma sustancialmente la calidad del trabajo experimental que los estudiantes producen.

Cinco aspectos de la medición se abordan en esta sección: los sistemas de unidades y magnitudes fundamentales, la selección y el uso de instrumentos de medida, la precisión, exactitud y resolución instrumental, la incertidumbre y sus fuentes, y el registro sistemático de las observaciones obtenidas. El dominio conjunto de estos cinco aspectos distingue a un estudiante que simplemente lee un número en un instrumento de aquel que comprende el significado y los límites de dicho número, distinción que resulta central para cualquier trabajo experimental que aspire a producir evidencia genuinamente confiable.

2.2.1. Sistemas de unidades y magnitudes fundamentales

El Sistema Internacional de Unidades ofrece el marco común mediante el cual la comunidad científica expresa sus mediciones, permitiendo que resultados obtenidos en laboratorios distintos resulten comparables entre sí sin ambigüedad alguna sobre qué unidad emplea cada uno. Familiarizar al alumnado con las magnitudes fundamentales, tales como longitud, masa y tiempo, y con las unidades derivadas que de ellas se construyen, tales como velocidad o fuerza, sienta las bases para que el joven comprenda por qué determinadas combinaciones de unidades resultan coherentes y otras no.

Un error frecuente entre estudiantes principiantes consiste en mezclar unidades de distintos sistemas dentro de un mismo cálculo, sin advertir que dicha mezcla invalida por completo el resultado numérico obtenido, por correcta que resulte la operación aritmética realizada. Insistir en la conversión explícita de unidades antes de cualquier cálculo, como paso obligatorio y no opcional, previene buena

parte de estos errores y refuerza además la comprensión conceptual de qué representa físicamente cada magnitud involucrada.

Una estrategia sencilla para consolidar este hábito consiste en exigir que toda respuesta numérica se acompañe siempre de su unidad correspondiente, incluso en los pasos intermedios de un cálculo, práctica que convierte la coherencia dimensional en un hábito automático y no en una verificación final apresurada.

2.2.2. Selección y uso de instrumentos de medida

Seleccionar el instrumento adecuado para una medición determinada exige considerar tanto el rango de valores esperado como la resolución que dicho instrumento ofrece, evitando tanto instrumentos demasiado imprecisos para el fenómeno estudiado como instrumentos innecesariamente sofisticados para una medición sencilla. La Tabla 7 sistematiza los instrumentos de medida más habituales en el laboratorio escolar según la magnitud física estudiada, orientando al docente sobre cuál resulta más apropiado para cada situación experimental concreta que pueda plantearse en el aula de bachillerato.

El uso correcto de cada instrumento, más allá de su sola disponibilidad, requiere que el estudiante comprenda su funcionamiento básico, sus limitaciones y los errores típicos que se cometen al manipularlo, tales como el error de paralaje al leer una escala graduada desde un ángulo inadecuado. Dedicar tiempo específico a la práctica guiada con cada instrumento nuevo, antes de exigir su uso autónomo dentro de una investigación completa, reduce considerablemente los errores de manejo que de otro modo contaminarían los datos recogidos durante el experimento.

Esta práctica guiada resulta particularmente valiosa cuando se organiza como una breve estación rotativa al inicio del curso, donde pequeños grupos de estudiantes manipulan sucesivamente cada instrumento disponible en el laboratorio bajo la observación directa del docente, quien puede así detectar y corregir de inmediato malos hábitos de manipulación antes de que se consoliden. Esta inversión inicial de tiempo, aunque reduce el tiempo disponible para la primera investigación completa del año, suele traducirse en sesiones experimentales posteriores considerablemente más fluidas y con datos de mejor calidad.

Tabla 7

Instrumentos de medida según la magnitud física estudiada

Magnitud física	Instrumento habitual	Consideración principal
Longitud	Regla, calibrador, cinta métrica	Evitar el error de paralaje al efectuar la lectura
Masa	Balanza de laboratorio	Verificar la calibración antes de cada sesión
Tiempo	Cronómetro digital o sensor de tiempo	Considerar el tiempo de reacción del observador
Temperatura	Termómetro o sensor digital	Esperar la estabilización antes de leer el valor

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

2.2.3. Precisión, exactitud y resolución instrumental

Precisión y exactitud constituyen conceptos distintos que el alumnado suele confundir: la precisión se refiere a la consistencia entre mediciones repetidas de una misma magnitud, mientras que la exactitud se refiere a la cercanía entre el valor medido y el valor real o convencionalmente aceptado. Un instrumento puede resultar muy preciso, ofreciendo valores muy similares entre sí en mediciones

repetidas, y sin embargo poco exacto, si dichos valores se alejan sistemáticamente del valor verdadero debido a una descalibración no detectada previamente.

La resolución instrumental, entendida como el menor cambio que un instrumento puede detectar, determina el número de cifras significativas con que resulta razonable expresar cualquier medición realizada con dicho instrumento, aspecto que conecta directamente con el tratamiento matemático de datos examinado en la sección 2.3. Explicar estas distinciones mediante ejemplos concretos, tales como comparar los resultados de varios estudiantes que miden el mismo objeto con instrumentos de resolución distinta, ayuda a consolidar una comprensión que de otro modo permanece abstracta y poco memorable.

Una analogía visual frecuentemente empleada consiste en representar la precisión y la exactitud mediante impactos sobre un blanco de tiro: disparos agrupados mas alejados del centro ilustran precisión sin exactitud, disparos dispersos pero centrados en promedio ilustran exactitud sin precisión, y disparos agrupados y centrados ilustran la situación ideal donde ambas cualidades coexisten. Esta representación gráfica sencilla suele quedar mejor grabada en la memoria del estudiante que una definición puramente verbal de ambos conceptos. Complementar esta analogía con una actividad práctica breve, donde distintos equipos midan repetidamente la misma magnitud con el mismo instrumento y comparen después sus conjuntos de valores frente al resto de la clase, permite que el alumnado experimente de manera directa estas nociones antes de formalizarlas mediante definiciones técnicas precisas.

2.2.4. Incertidumbre y fuentes de error

Toda medición conlleva una incertidumbre inherente, que no debe confundirse con un error o equivocación del experimentador, sino entenderse como un margen razonable dentro del cual se espera que se encuentre el valor real de la magnitud medida. La Figura 6 representa las principales fuentes de incertidumbre y error en la medición, distinguiendo los errores sistemáticos, que afectan las mediciones siempre en la misma dirección debido a una falla instrumental o de procedimiento, de los errores aleatorios, que fluctúan de manera impredecible entre una medición y otra.

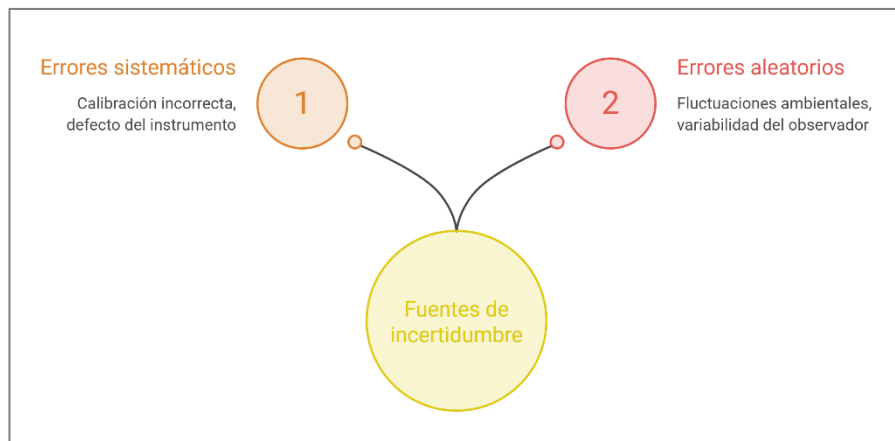
Comunicar el resultado de una medición junto con su incertidumbre asociada, en lugar de reportar únicamente un número aislado, constituye una práctica de rigor científico que distingue el trabajo experimental riguroso del que carece de dicho rigor, aun cuando ambos puedan arrojar cifras similares. Cano U. et al. (2011) subrayan que instalar esta cultura de la incertidumbre desde el bachillerato prepara al estudiante para exigencias posteriores en estudios universitarios de ciencias e ingeniería, donde dicha práctica se considera un estándar mínimo indiscutible.

Introducir esta cultura no requiere necesariamente un tratamiento estadístico sofisticado desde el primer momento; basta con habituar al estudiante a expresar sus resultados como un valor central acompañado de un margen razonable, por ejemplo mediante repeticiones simples de una misma medición, para sentar las bases actitudinales sobre las cuales, más adelante, podrá incorporarse un tratamiento matemático más riguroso de dicha incertidumbre. Un ejercicio breve pero efectivo para introducir esta distinción consiste en presentar al estudiante dos conjuntos de mediciones ficticias con la misma media pero dispersiones marcadamente distintas, y pedirle que discuta cuál de los dos conjuntos inspira mayor confianza, actividad

que hace tangible la relación entre incertidumbre y confiabilidad antes de formalizarla mediante cálculos específicos.

Figura 6

Principales fuentes de incertidumbre y error en la medición



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

2.2.5. Registro sistemático de observaciones

Un registro sistemático de observaciones, llevado en un cuaderno de laboratorio o en una tabla digital, permite reconstruir posteriormente qué ocurrió durante el experimento, incluso cuando la memoria del estudiante ya no recuerda con precisión los detalles de cada sesión de trabajo. Este registro debe incluir no solamente los valores numéricos obtenidos, sino también las condiciones en que se realizaron las mediciones, cualquier anomalía observada y las decisiones tomadas durante la sesión experimental que puedan afectar la interpretación posterior de los resultados.

Fomentar el hábito de registrar de inmediato, en lugar de confiar en la memoria para completar el registro más tarde, evita distorsiones

y omisiones que resultan particularmente frecuentes cuando varios estudiantes trabajan simultáneamente en un mismo montaje experimental. Asignar explícitamente el rol de registrador dentro de cada equipo de trabajo, rotando dicha responsabilidad entre sesiones sucesivas, garantiza que todos los estudiantes desarrollen esta competencia a lo largo del curso, en lugar de que recaiga sistemáticamente sobre un único integrante del grupo mientras los demás se desentienden de esta tarea.

Revisar periódicamente estos cuadernos de laboratorio, con retroalimentación breve pero constante sobre la calidad del registro y no únicamente sobre los resultados finales obtenidos, comunica al estudiante que el proceso de documentación se valora tanto como el producto final de la investigación realizada. Esta sección ha desarrollado los componentes centrales de la medición y la obtención de evidencia empírica confiable. La sección siguiente examina cómo dicha evidencia, una vez registrada, se somete a un tratamiento matemático riguroso que permite extraer conclusiones fundamentadas.

2.3. Tratamiento matemático de datos experimentales

El tratamiento matemático transforma un conjunto de mediciones dispersas en información interpretable, retomando directamente las herramientas cuantitativas examinadas en el Capítulo 1 de esta obra y aplicándolas ahora a datos obtenidos de manera experimental por el propio estudiante. Pols et al. (2021) documentan que, si bien los jóvenes de quince años suelen dominar la recolección y el registro básico de datos, su capacidad para interpretarlos en función del fenómeno estudiado resulta considerablemente más débil. Cinco elementos de este tratamiento se examinan a continuación: la organización de conjuntos de datos, los parámetros descriptivos para resumir mediciones, la representación gráfica de resultados, la

identificación de tendencias y relaciones funcionales, y la interpretación cuantitativa de la evidencia obtenida.

Estos cinco elementos conforman, en conjunto, el puente concreto que traduce columnas de números en un relato comprensible sobre el comportamiento del sistema físico estudiado, traducción que constituye precisamente el objetivo formativo central de esta sección.

2.3.1. Organización de conjuntos de datos

Organizar los datos obtenidos en tablas claras, con columnas bien identificadas y unidades explícitas, constituye un paso previo indispensable antes de cualquier análisis posterior, y sin embargo resulta frecuentemente descuidado por estudiantes que prefieren avanzar directamente hacia los cálculos. Esta organización debe distinguir claramente entre datos brutos, tal como se obtuvieron directamente del instrumento, y datos procesados, que ya incorporan alguna transformación o cálculo intermedio, evitando confusiones sobre qué valor corresponde a cada etapa del análisis.

El uso de hojas de cálculo digitales, cuando los recursos institucionales lo permiten, facilita considerablemente esta organización y prepara además al estudiante para herramientas que empleará de manera habitual en estudios posteriores y en contextos profesionales diversos. Una organización cuidadosa desde el inicio ahorra tiempo considerable en las etapas posteriores del análisis, mientras que datos desordenados o incompletos suelen obligar a repetir mediciones que podrían haberse evitado con un registro más disciplinado.

Revisar en conjunto, antes de dar por finalizada la sesión de laboratorio, si la tabla construida permite responder de manera directa la pregunta que originalmente motivó la investigación, evita que el estudiante descubra demasiado tarde que le falta algún dato esencial, cuando el montaje experimental ya ha sido desarmado y recolectar

dicho dato exigiría una sesión adicional completa. Establecer, como práctica institucional del área de ciencias, un formato estándar de tabla que todos los docentes exijan de manera consistente a lo largo de distintos cursos y asignaturas, evita que el estudiante deba reaprender convenciones distintas cada vez que cambia de profesor, consolidando en cambio un hábito de organización que se refuerza de manera coherente en toda su trayectoria de bachillerato.

2.3.2. Parámetros descriptivos para resumir mediciones

Cuando una magnitud se mide varias veces bajo las mismas condiciones, los parámetros descriptivos permiten resumir dicho conjunto de valores en cifras que capturan su tendencia central y su dispersión, sin necesidad de examinar cada valor individual por separado. La Tabla 8 sistematiza los parámetros descriptivos aplicables al análisis de mediciones escolares, distinguiendo la media aritmética, que resume la tendencia central del conjunto, de la desviación estándar, que expresa cuánto varían típicamente los valores individuales respecto de dicha media.

Comprender qué información aporta cada parámetro, y no únicamente saber calcularlo mecánicamente, permite al estudiante decidir cuál resulta más pertinente según el propósito específico de su análisis y las características particulares del conjunto de datos que ha recolectado. Vincular estos parámetros con la incertidumbre examinada en la subsección 2.2.4 de este capítulo refuerza la coherencia interna de esta sección, mostrando que la dispersión estadística de los datos y la incertidumbre instrumental constituyen dos caras relacionadas de un mismo problema.

Calcular estos parámetros a mano, al menos durante las primeras experiencias del curso, antes de delegar dicho cálculo a una hoja de cálculo digital, ayuda al estudiante a comprender qué operaciones subyacen a cada fórmula, comprensión que después le

permitirá interpretar con mayor criterio los resultados que cualquier herramienta automatizada le entregue en adelante. Una vez consolidado este cálculo manual, la transición hacia herramientas digitales resulta considerablemente más provechosa, puesto que el estudiante ya no percibe la hoja de cálculo como una caja negra que produce números incomprensibles, sino como un instrumento que automatiza un procedimiento que él mismo domina y puede verificar de manera independiente.

Tabla 8

Parámetros descriptivos aplicables al análisis de mediciones

Parámetro	Qué representa	Utilidad principal
Media aritmética	Valor central del conjunto de datos	Resumir la tendencia general de las mediciones
Desviación estándar	Dispersión típica respecto de la media	Estimar la variabilidad de las mediciones
Valor máximo y mínimo	Extremos del conjunto de datos	Identificar el rango total de variación observado

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

2.3.3. Representación gráfica de resultados

Representar gráficamente los resultados retoma directamente las competencias examinadas en la subsección 1.4.2 del capítulo anterior, exigiendo ahora que el estudiante aplique dichas competencias a datos genuinamente obtenidos por él mismo y no a ejemplos previamente elaborados por el docente. Esta representación exige decisiones técnicas concretas, tales como elegir la escala apropiada para los ejes, decidir si conviene incluir barras de error que reflejen la incertidumbre de cada medición, y seleccionar el tipo de gráfica más adecuado según la naturaleza de la relación estudiada.

Rodríguez-Medina et al. (2023) documentan que las dificultades de aprendizaje en la representación gráfica de fenómenos cinemáticos persisten incluso entre estudiantes avanzados de secundaria, subrayando la necesidad de una práctica sostenida y no de una única lección aislada sobre el tema. Revisar en conjunto, frente a toda la clase, algunas gráficas producidas por los propios estudiantes, señalando aciertos y errores comunes de manera constructiva, resulta considerablemente más efectivo que una explicación puramente teórica sobre las convenciones de construcción gráfica.

Proyectar dos o tres gráficas anónimas del mismo conjunto de datos, elaboradas por distintos equipos, y pedir a la clase que discuta cuál comunica la información con mayor claridad y por qué, convierte la revisión en un ejercicio participativo que fortalece el criterio visual del estudiante mucho más que una corrección individual y privada de cada trabajo entregado. Este ejercicio comparativo funciona particularmente bien cuando se acompaña de una breve rúbrica compartida con la clase desde el inicio, que precise qué elementos debe contener toda gráfica correctamente construida, de modo que la discusión grupal se apoye en criterios explícitos y no en impresiones puramente subjetivas sobre qué representación resulta más atractiva visualmente.

2.3.4. Identificación de tendencias y relaciones funcionales

Una vez graficados los datos, identificar la tendencia general que dibujan permite al estudiante conjeturar qué tipo de relación funcional, entre las examinadas en la subsección 1.3.3 del capítulo anterior, describe mejor el comportamiento del fenómeno estudiado. Esta identificación no debe reducirse a un ajuste automático realizado por un programa informático sin comprensión del proceso, sino acompañarse siempre de una pregunta explícita sobre por qué esa forma funcional particular resulta físicamente razonable para el sistema estudiado.

Cuando los datos experimentales no se ajustan claramente a ninguna función conocida, ese resultado no debe descartarse como un fracaso, sino explorarse como una oportunidad para revisar los supuestos del experimento o para reconocer que el fenómeno estudiado responde a una relación más compleja de la anticipada. Esta apertura hacia resultados inesperados prepara al estudiante para la evaluación de discrepancias que se desarrolla con mayor profundidad en la sección 2.5 de este capítulo, dedicada específicamente a la argumentación a partir de resultados experimentales.

Presentar a la clase, de manera deliberada, algún caso histórico donde un resultado experimental inicialmente considerado anómalo condujo posteriormente a un descubrimiento relevante, ayuda a que el estudiante internalice que la ciencia valora genuinamente los datos que desafían las expectativas iniciales, en lugar de tratarlos únicamente como errores a corregir. Estos episodios históricos, narrados de manera breve y accesible, cumplen además una función motivacional importante, mostrando al estudiante que la incertidumbre y la sorpresa no son obstáculos ajenos al quehacer científico profesional, sino compañeras habituales de cualquier investigación genuina, incluida la que él mismo realiza dentro de las limitaciones propias del laboratorio escolar.

2.3.5. Interpretación cuantitativa de la evidencia obtenida

Interpretar cuantitativamente la evidencia significa ir más allá del cálculo correcto para preguntarse qué significa dicho cálculo en términos del fenómeno físico estudiado, cerrando así el ciclo que comenzó con la formulación de la pregunta investigable en la sección 2.1. Esta interpretación exige que el estudiante relacione explícitamente los números obtenidos con la hipótesis originalmente planteada, determinando si la evidencia recolectada la respalda, la contradice parcialmente o resulta insuficiente para pronunciarse con la confianza deseada.

Esta etapa constituye, en muchos sentidos, la más exigente de todo el ciclo investigativo, puesto que combina el dominio técnico del cálculo con un juicio cualitativo sobre el peso real de la evidencia, juicio que no siempre admite una respuesta única y correcta, sino que requiere que el estudiante argumente su postura de manera razonada y transparente. Ofrecer al estudiante, durante esta etapa, ejemplos contrastantes de interpretaciones bien fundamentadas y de interpretaciones apresuradas sobre un mismo conjunto de datos ficticios, y pedirle que identifique las diferencias entre ambas, resulta considerablemente más formativo que limitarse a exigir una interpretación correcta sin mostrar previamente qué distingue a una interpretación sólida de una superficial.

Esta sección ha desarrollado el tratamiento matemático que transforma datos dispersos en conclusiones interpretables. La sección siguiente aplica este conjunto de herramientas a la experimentación concreta en distintos campos de la física, desde el movimiento hasta el electromagnetismo.

2.4. Experimentación en diferentes campos de la Física

Aplicar las herramientas de formulación, medición y tratamiento de datos examinadas en las secciones anteriores a campos específicos de la física permite al estudiante consolidar dichas herramientas en contextos progresivamente diversos y exigentes. Domènech Casal (2018) documenta que los proyectos experimentales que combinan varios campos de la física, como ocurre al construir un globo aerostático que involucra simultáneamente conceptos de energía y de fuerzas, favorecen una comprensión más integrada que la enseñanza estrictamente compartimentada por temas.

Cinco campos de experimentación se recorren en esta sección: el movimiento y el comportamiento cinemático, las fuerzas, el equilibrio y la dinámica, el trabajo, la energía y sus transformaciones,

las ondas, el sonido y los fenómenos ópticos, y la electricidad y el magnetismo abordados mediante experiencias controladas. Este recorrido por campos diversos de la física no pretende agotar cada uno de ellos de manera exhaustiva, sino ofrecer al docente un repertorio de estrategias transferibles que puede adaptar y extender hacia otros contenidos específicos de su propio programa curricular.

2.4.1. Movimiento y comportamiento cinemático

El estudio experimental del movimiento ofrece, quizás, el punto de entrada más accesible a la física escolar, en la medida en que el desplazamiento de un objeto resulta directamente observable y medible con instrumentos relativamente sencillos y de bajo costo. Experimentos con carritos sobre rieles, caída de objetos cronometrada con sensores, o análisis de video cuadro por cuadro, permiten al estudiante obtener datos de posición y tiempo que luego puede tratar matemáticamente siguiendo las herramientas examinadas en la sección 2.3 de este capítulo.

Rodríguez-Medina et al. (2023) advierten que, precisamente en este campo, las dificultades para relacionar la gráfica del movimiento con el fenómeno físico real resultan particularmente persistentes, por lo que conviene combinar sistemáticamente la experiencia directa del movimiento con su representación gráfica correspondiente. Pedir al estudiante que primero prediga cualitativamente la forma de la gráfica antes de obtenerla experimentalmente, y que luego compare su predicción con el resultado real, constituye una estrategia particularmente efectiva para consolidar la comprensión cinemática.

Esta técnica de predicción previa, ampliamente documentada en la literatura de enseñanza de las ciencias, funciona porque expone abiertamente las concepciones intuitivas del estudiante antes de contrastarlas con la evidencia, generando un conflicto cognitivo productivo que rara vez surge cuando el joven simplemente observa un

resultado ya calculado sin haberlo anticipado por su cuenta. Combinar experiencias con objetos de distinta masa y forma, algunos que favorecen la fricción con el aire y otros que la minimizan, permite además que el estudiante reconozca por sí mismo los límites de validez del modelo simplificado de caída libre estudiado en el Capítulo 1 de esta obra, comprobando experimentalmente cuándo dicho modelo resulta razonablemente preciso y cuándo se aleja considerablemente de lo observado.

2.4.2. Fuerzas, equilibrio y dinámica

El estudio de las fuerzas exige superar concepciones intuitivas fuertemente arraigadas en la experiencia cotidiana, muchas de las cuales resultan incompatibles con los principios newtonianos que rigen el comportamiento dinámico de los cuerpos en situaciones controladas de laboratorio. Experiencias sencillas con dinamómetros, planos inclinados o sistemas de poleas permiten al estudiante cuantificar fuerzas y contrastar sus predicciones intuitivas con los resultados obtenidos, generando con frecuencia una productiva sorpresa que motiva la revisión de sus propias concepciones previas.

El equilibrio de fuerzas, estudiado mediante montajes donde varias fuerzas actúan simultáneamente sobre un mismo objeto, ofrece además una oportunidad natural para introducir la representación vectorial, articulando así el contenido físico con herramientas matemáticas específicas del álgebra vectorial. Esta articulación entre concepción intuitiva y modelo newtoniano formal, lejos de resolverse en una única sesión de laboratorio, requiere retomar el tema en distintos momentos del curso con niveles crecientes de complejidad experimental.

Documentar explícitamente, al inicio de la unidad, las concepciones intuitivas que el propio grupo manifiesta sobre las fuerzas y el movimiento, mediante una breve encuesta o discusión

inicial, permite al docente diseñar experiencias que confronten directamente esas ideas particulares, en lugar de aplicar una secuencia genérica que podría no dialogar con las concepciones específicas presentes en ese curso concreto. Conservar el registro de estas concepciones iniciales y contrastarlo, al final de la unidad, con una nueva ronda de preguntas similares, permite además que el propio estudiante visualice de manera concreta su progreso conceptual, evidencia que suele resultar considerablemente más motivadora que una calificación numérica aislada sin este punto de comparación explícito.

Esta comparación explícita entre el punto de partida conceptual y el punto de llegada, sostenida como práctica regular a lo largo del curso, refuerza además la comprensión provisional del conocimiento científico examinada en la subsección 1.5.5 del capítulo anterior, mostrando al estudiante de manera tangible cómo sus propias ideas evolucionan conforme acumula evidencia experimental.

2.4.3. Trabajo, energía y transformaciones

El concepto de energía resulta, según documenta Domènech Casal (2018), particularmente abstracto para el alumnado de secundaria, en la medida en que la energía no se observa directamente sino que se infiere a partir de sus efectos y transformaciones en el sistema estudiado. Experimentos que rastrean transformaciones energéticas concretas, tales como la conversión de energía potencial en cinética durante la caída de un objeto, o de energía eléctrica en energía mecánica en un pequeño motor, ayudan a construir progresivamente esta noción abstracta a partir de manifestaciones tangibles.

Proyectos de mayor alcance, como el globo aerostático documentado por Domènech Casal (2018), permiten además integrar el concepto de energía con la perspectiva STEAM examinada en el

Capítulo 1 de esta obra, combinando física, diseño y construcción dentro de un mismo desafío significativo. Este tipo de proyectos extendidos exige, sin embargo, una planificación temporal cuidadosa, puesto que su riqueza formativa se pierde considerablemente si se comprimen en una única sesión de clase sin tiempo suficiente para la reflexión y el ajuste progresivo del diseño.

Distribuir un proyecto de este tipo a lo largo de varias semanas, con hitos intermedios claramente definidos donde cada equipo presenta su avance y recibe retroalimentación antes de continuar, permite sostener la calidad formativa del proyecto sin comprometer el ritmo general de avance del resto del programa curricular. Esta distribución temporal cuidadosa permite, además, que el proyecto conviva con los contenidos regulares de la asignatura, en lugar de sustituirlos por completo durante varias semanas, equilibrio que resulta particularmente valioso en instituciones donde el programa curricular oficial exige cubrir un temario extenso dentro de un tiempo lectivo limitado.

2.4.4. Ondas, sonido y fenómenos ópticos

Los fenómenos ondulatorios combinan una fuerte carga matemática, vinculada a las funciones trigonométricas examinadas en el capítulo anterior, con manifestaciones sensoriales directas, como el sonido y la luz, que resultan particularmente atractivas para el alumnado de bachillerato. La Tabla 9 sistematiza las magnitudes y relaciones matemáticas presentes en experiencias habituales con ondas, sonido y óptica, tales como la relación entre frecuencia y longitud de onda, o entre el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción en un medio transparente.

Experiencias sencillas con cuerdas vibrantes, tubos de resonancia o láseres de baja potencia permiten cuantificar estas relaciones sin requerir equipamiento costoso, siempre que se respeten

protocolos básicos de seguridad, particularmente al trabajar con fuentes de luz láser en el aula. Vincular estos experimentos con aplicaciones tecnológicas cotidianas, tales como instrumentos musicales o dispositivos ópticos, refuerza la motivación del estudiante y conecta el contenido físico con la vinculación de conocimiento con problemas del entorno examinada en la subsección 1.2.5 del capítulo anterior.

Invitar al estudiante a construir su propio instrumento musical sencillo, como una guitarra de caja de cartón con cuerdas de goma elástica, y a explicar posteriormente el fenómeno físico que explica por qué distintas cuerdas producen sonidos diferentes, integra de manera natural el contenido de ondas con la dimensión creativa y manual propia del enfoque STEAM examinado en el capítulo anterior. Documentar este tipo de construcciones mediante un breve video explicativo, donde el propio estudiante muestre su instrumento y argumente la física involucrada, añade además una dimensión comunicativa valiosa que anticipa la comunicación rigurosa de hallazgos examinada en la sección final de este capítulo.

Tabla 9

Magnitudes y relaciones matemáticas presentes en ondas, sonido y óptica

Fenómeno	Magnitudes involucradas	Relación matemática habitual
Onda periódica	Frecuencia, longitud de onda, velocidad	Velocidad igual a frecuencia por longitud de onda
Resonancia en tubos	Longitud del tubo, frecuencia fundamental	Relación inversa entre longitud y frecuencia
Refracción de la luz	Ángulo de incidencia, ángulo de refracción	Relación descrita por la ley de Snell

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

2.4.5. Electricidad y magnetismo mediante experiencias controladas

La electricidad y el magnetismo presentan un desafío experimental particular, puesto que buena parte de sus manifestaciones fundamentales no resultan directamente visibles, exigiendo instrumentos o materiales intermediarios que permitan evidenciar su presencia y comportamiento. Circuitos simples con resistencias, bombillas y multímetros permiten cuantificar relaciones entre voltaje, corriente y resistencia, mientras que experiencias con brújulas y limaduras de hierro alrededor de un conductor con corriente evidencian de manera accesible la conexión entre electricidad y magnetismo.

La seguridad constituye una consideración ineludible en este campo experimental, exigiendo del docente establecer protocolos claros sobre voltajes y corrientes seguros para el trabajo escolar, y supervisar de cerca cualquier montaje que involucre fuentes de energía eléctrica. Trabajar exclusivamente con pilas de bajo voltaje y evitar por completo el acceso estudiantil a la corriente de red eléctrica constituye una norma básica que ningún objetivo pedagógico justifica flexibilizar, principio que conviene comunicar explícitamente al alumnado como parte integral, y no accesorio, del aprendizaje sobre electricidad.

Aprovechar este momento para conversar abiertamente sobre por qué existen estas normas de seguridad, en lugar de presentarlas únicamente como una prohibición arbitraria, ayuda al estudiante a comprender los riesgos reales involucrados y a internalizar hábitos de trabajo seguro que le serán valiosos mucho más allá del contexto específico del laboratorio escolar de física. Esta sección ha recorrido cinco campos de experimentación física que ponen en práctica las herramientas metodológicas desarrolladas. La sección final examina cómo los resultados obtenidos en cualquiera de estos campos se convierten en argumentos científicos sólidos y comunicables.

2.5. Argumentación a partir de resultados experimentales

La argumentación cierra el ciclo de la investigación experimental, traduciendo los datos tratados matemáticamente en afirmaciones justificadas que otros pueden evaluar críticamente. Revel Chion et al. (2021) documentan que la argumentación científica escolar contribuye significativamente al aprendizaje conceptual cuando se enseña de manera explícita, y no se asume como una habilidad que el estudiante desarrollará espontáneamente por el solo hecho de experimentar. Cinco componentes de esta argumentación se examinan en esta sección final del capítulo: el contraste entre hipótesis y resultados, la interpretación física de los valores numéricos obtenidos, la evaluación de discrepancias y resultados inesperados, la elaboración de conclusiones sustentadas en evidencia y la comunicación rigurosa de los hallazgos alcanzados.

Esta sección final sintetiza, en definitiva, todo el trabajo previo del capítulo, recordando que una investigación técnicamente impecable pierde buena parte de su valor formativo si el estudiante no logra finalmente comunicar con claridad y honestidad lo que efectivamente descubrió durante el proceso.

2.5.1. Contraste entre hipótesis y resultados

Contrastar la hipótesis inicial con los resultados finalmente obtenidos exige al estudiante regresar explícitamente a la formulación que realizó al comienzo de la investigación, examinada en la subsección 2.1.4 de este capítulo, y determinar con honestidad si dicha hipótesis encuentra respaldo en la evidencia recogida. Este contraste no debe plantearse en términos binarios de verdadero o falso, sino reconociendo grados de apoyo parcial, condiciones bajo las cuales la hipótesis se sostiene y condiciones bajo las cuales podría requerir matices o ajustes adicionales.

Gómez Zaccarelli et al. (2024) documentan que las discusiones grupales estructuradas en torno a este contraste, donde distintos equipos comparan sus hipótesis y resultados, enriquecen considerablemente la calidad del razonamiento científico que finalmente se produce en el aula. Facilitar estas discusiones requiere del docente una preparación específica, puesto que gestionar un debate científico productivo exige habilidades distintas de las que se emplean en una clase expositiva tradicional sobre contenidos ya establecidos.

Establecer normas claras de participación antes de iniciar el debate, tales como exigir que cada intervención se apoye en datos concretos y no en opiniones sin fundamento, ayuda a mantener la discusión centrada en la evidencia disponible y evita que se convierta en un simple intercambio de posturas personales desconectadas del experimento realizado. Asignar de manera rotativa el papel de moderador entre los propios estudiantes, en lugar de que dicho rol recaiga siempre en el docente, distribuye además la responsabilidad de sostener estas normas de participación y ofrece a distintos jóvenes la oportunidad de desarrollar habilidades de facilitación que trascienden ampliamente el contenido específico de la física estudiada.

2.5.2. Interpretación física de valores numéricos

Todo valor numérico obtenido experimentalmente requiere una interpretación física explícita que le otorgue sentido más allá del cálculo aritmético que lo produjo, retomando la lectura física de ecuaciones y resultados examinada en la subsección 1.3.5 del capítulo anterior. Esta interpretación implica preguntarse si el valor obtenido resulta razonable dado el contexto del experimento, comparándolo mentalmente con órdenes de magnitud esperados y detectando así posibles errores groseros antes de proceder a conclusiones más elaboradas.

Enseñar al estudiante a realizar esta verificación de razonabilidad como paso rutinario, y no como un ejercicio ocasional, previene la aceptación acrítica de resultados absurdos que a veces se originan en errores simples de unidades o de cálculo no detectados oportunamente. Esta práctica de verificación constituye, además, una disposición transferible a cualquier ámbito donde se manejen datos cuantitativos, mucho más allá del laboratorio escolar de física en el que inicialmente se cultiva.

Presentar deliberadamente al estudiante, de vez en cuando, un resultado numérico absurdo obtenido de un cálculo con errores intencionales, y pedirle que identifique por qué dicho valor no puede ser correcto sin necesidad de rehacer el cálculo completo, entrena específicamente este juicio de razonabilidad de manera lúdica y memorable. Esta práctica de detección de errores, cuando se repite periódicamente a lo largo del curso con distintos tipos de fenómenos físicos, construye progresivamente un repertorio de referencias intuitivas sobre órdenes de magnitud razonables que el estudiante podrá aplicar posteriormente de manera casi automática ante cualquier resultado numérico nuevo que deba evaluar.

2.5.3. Evaluación de discrepancias y resultados inesperados

Las discrepancias entre lo esperado y lo observado constituyen, lejos de un fracaso experimental, una fuente valiosa de aprendizaje que exige al estudiante examinar críticamente cada etapa de su procedimiento para identificar posibles causas de dicha discrepancia. La Tabla 10 sistematiza las causas posibles de discrepancias en los resultados experimentales, distinguiendo errores de procedimiento, limitaciones instrumentales, supuestos simplificadores no válidos para el caso estudiado, y ocasionalmente fenómenos genuinamente inesperados que merecen investigación adicional.

Cultivar en el estudiante la costumbre de documentar por escrito sus hipótesis sobre el origen de una discrepancia, en lugar de descartarla sin más como un simple error, fortalece considerablemente su capacidad de razonamiento científico autónomo frente a resultados imprevistos. Esta actitud investigativa ante lo inesperado conecta directamente con la revisión de modelos frente a nuevas condiciones examinada en la subsección 1.5.5 del capítulo anterior, confirmando la coherencia conceptual que atraviesa toda esta obra.

Reservar explícitamente un espacio en el informe final para que el estudiante narre, en sus propias palabras, qué discrepancias encontró y cómo las interpretó, en lugar de exigir únicamente resultados que coincidan perfectamente con lo esperado, envía un mensaje pedagógico claro sobre qué tipo de honestidad científica se valora realmente en la evaluación de su trabajo.

Tabla 10

Posibles causas de discrepancias en los resultados experimentales

Tipo de causa	Ejemplo habitual	Acción sugerida
Error de procedimiento	Variable extraña no controlada	Revisar y repetir el experimento controlando dicha variable
Limitación instrumental	Resolución insuficiente del instrumento	Emplear un instrumento de mayor resolución si es posible
Supuesto simplificador no válido	Resistencia del aire despreciada indebidamente	Reconsiderar el modelo teórico empleado
Fenómeno inesperado genuino	Comportamiento no descrito por el modelo previsto	Documentar y proponer una investigación adicional

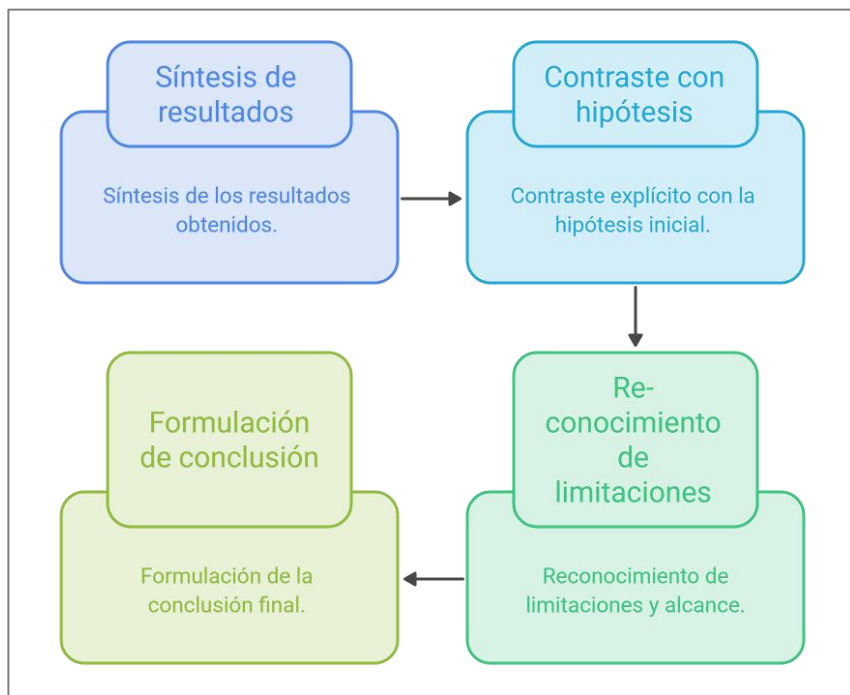
Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

2.5.4. Elaboración de conclusiones sustentadas en evidencia

Elaborar conclusiones sustentadas en evidencia exige que el estudiante articule explícitamente qué afirma, en qué datos concretos se apoya dicha afirmación y qué limitaciones reconoce en el alcance de sus propias conclusiones. La Figura 7 representa el proceso para elaborar conclusiones sustentadas en evidencia, ilustrando el tránsito desde la síntesis de los resultados obtenidos, pasando por su contraste explícito con la hipótesis inicial, hasta la formulación de afirmaciones que reconocen abiertamente su propio alcance y sus límites.

Evitar generalizaciones que excedan lo que los datos efectivamente permiten afirmar constituye una disciplina intelectual que distingue a la ciencia rigurosa de la especulación sin fundamento, distinción que conviene modelar explícitamente frente al estudiante mediante ejemplos concretos de ambos extremos. Esta elaboración cuidadosa de conclusiones prepara además al joven para la comunicación de sus hallazgos hacia audiencias diversas, aspecto que se desarrolla en la subsección final de este capítulo.

Distinguir explícitamente, dentro del informe final, entre lo que los datos permiten afirmar con confianza y lo que constituye una interpretación razonable pero no plenamente verificada, mediante un lenguaje que module adecuadamente el grado de certeza expresado, constituye una competencia comunicativa tan valiosa como el propio dominio técnico del contenido físico estudiado. Proporcionar al estudiante un breve listado de expresiones lingüísticas útiles para modular este grado de certeza, tales como distinguir entre afirmar que los datos demuestran algo y afirmar que los datos sugieren algo, ofrece un andamiaje concreto que facilita considerablemente la redacción de conclusiones matizadas y honestas, especialmente entre quienes recién comienzan a producir este tipo de textos científicos formales.

Figura 7*Proceso para elaborar conclusiones sustentadas en evidencia*

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

2.5.5. Comunicación rigurosa de hallazgos

Comunicar los hallazgos de una investigación experimental exige adaptar el lenguaje técnico empleado durante el proceso hacia una forma comprensible para la audiencia específica a la que se dirige el informe, la presentación oral o el póster científico. Esta comunicación debe incluir siempre, con independencia del formato elegido, una descripción clara del procedimiento seguido, los resultados obtenidos con su incertidumbre correspondiente, y las conclusiones alcanzadas junto con sus limitaciones reconocidas explícitamente por el propio autor.

Gómez Zaccarelli et al. (2024) destacan que la práctica sostenida de comunicar hallazgos ante audiencias reales, y no únicamente ante el docente evaluador, fortalece considerablemente tanto la calidad de la argumentación como la confianza del estudiante en su propio quehacer científico. Organizar una jornada de socialización donde distintos equipos presenten sus investigaciones ante compañeros de otros cursos, familiares o miembros de la comunidad escolar, ofrece precisamente esa audiencia real que motiva un nivel de preparación y claridad expositiva considerablemente superior al que suele dedicarse a un informe leído únicamente por el profesor.

Esta exposición ante audiencias diversas cierra de manera particularmente elocuente el ciclo investigativo completo examinado en este capítulo, devolviendo al estudiante, en forma de preguntas y comentarios de personas ajenas al proceso, una perspectiva externa que enriquece su comprensión final del fenómeno estudiado y que ningún informe escrito, por completo que resulte, podría ofrecerle por sí solo. Este capítulo ha desarrollado el ciclo completo de la investigación experimental escolar, desde la formulación de preguntas hasta la comunicación rigurosa de hallazgos. El Capítulo 3 de esta obra avanza hacia la simulación, la programación y los recursos digitales que amplían y complementan las posibilidades de esta exploración científica.

Este segundo capítulo ha desarrollado el ciclo completo de la investigación experimental escolar, desde la formulación de problemas investigables hasta la comunicación rigurosa de hallazgos, pasando por la medición, el tratamiento matemático de datos y la experimentación en distintos campos de la física. La articulación constante con los fundamentos examinados en el Capítulo 1 de esta obra confirma que la investigación experimental no constituye un anexo práctico desconectado de la teoría, sino el terreno donde dicha teoría

se pone genuinamente a prueba y adquiere significado concreto para el estudiante de bachillerato.

El profesorado que consulte estas páginas encontrará una guía progresiva para acompañar a sus estudiantes a través de un ciclo investigativo completo, reconociendo que cada una de sus etapas, desde la pregunta inicial hasta la conclusión final, requiere un acompañamiento pedagógico deliberado y no debe darse por adquirida de manera espontánea. Antes de avanzar hacia el Capítulo 3, conviene retener una idea que atraviesa todo este capítulo: que el rigor científico no reside en la sofisticación del equipamiento disponible, sino en la calidad del razonamiento que un estudiante aplica a cada etapa de su indagación, desde la pregunta que formula hasta la conclusión que finalmente comunica.

Este principio resulta particularmente alentador para instituciones de bachillerato con recursos materiales limitados, puesto que confirma que una investigación experimental valiosa depende mucho más de la calidad del acompañamiento pedagógico que del costo de los instrumentos empleados, condición que pone este tipo de formación científica al alcance de prácticamente cualquier aula que cuente con un docente dispuesto a guiar el proceso con el rigor aquí descrito.



CAPÍTULO 3

Simulación, Programación y
Recursos Digitales para la
Exploración Científica

Capítulo 3. Simulación, Programación y Recursos Digitales para la Exploración Científica

Los dos primeros capítulos de esta obra desarrollaron los fundamentos conceptuales de la enseñanza integrada de Matemáticas y Física y el ciclo completo de la investigación experimental escolar. Este tercer capítulo amplía dicho ciclo hacia el territorio digital, examinando cómo la visualización dinámica, la simulación computacional, los sensores, la programación y el pensamiento computacional enriquecen la exploración científica que un joven de bachillerato puede realizar dentro y fuera del laboratorio tradicional. El propósito de estas páginas es mostrar al profesorado que estas herramientas digitales no constituyen un añadido opcional a la enseñanza de ciencias, sino recursos que profundizan la comprensión conceptual cuando se integran con criterio pedagógico. Díaz-Nunja et al. (2018) documentan que el uso de software de geometría dinámica en el aula de secundaria fortalece de manera significativa las capacidades de razonamiento, demostración y comunicación matemática del estudiante, siempre que dicho uso se acompañe de una planificación didáctica cuidadosa.

El capítulo se organiza en cinco secciones. La primera examina la visualización dinámica de conceptos matemáticos y físicos. La segunda desarrolla la simulación computacional de fenómenos. La tercera aborda los sensores para el estudio cuantitativo del entorno. La cuarta recorre la programación aplicada a problemas matemático-físicos, y la quinta cierra el capítulo con el pensamiento computacional en el razonamiento científico. La tesis que atraviesa este capítulo sostiene que las herramientas digitales alcanzan su máximo valor formativo cuando se utilizan para hacer visible aquello que resultaría difícil de observar de otro modo, y no como sustitutos automáticos de la experiencia directa y la manipulación física examinadas en el

capítulo anterior. Ambas formas de exploración, la analógica y la digital, se complementan y enriquecen mutuamente dentro de una enseñanza científica verdaderamente integrada. A lo largo de este recorrido, el lector reconocerá referencias constantes hacia subsecciones específicas de los dos capítulos precedentes, confirmando que las herramientas digitales examinadas en estas páginas no constituyen un territorio aislado, sino una extensión natural de los fundamentos conceptuales y del rigor experimental cultivados desde el inicio de esta obra.

3.1. Visualización dinámica de conceptos matemáticos y físicos

La visualización dinámica traduce relaciones matemáticas y fenómenos físicos en representaciones que el estudiante puede manipular en tiempo real, observando de manera inmediata cómo un cambio en un parámetro se refleja en el comportamiento global del sistema representado. Diaz-Nunja et al. (2018) documentan que esta manipulación directa, propia del software de geometría dinámica, favorece una comprensión considerablemente más profunda que la observación pasiva de figuras estáticas dibujadas en la pizarra.

Cinco componentes de esta visualización se examinan a continuación: la representación digital de funciones y relaciones, la exploración gráfica de cambios entre variables, la geometría dinámica aplicada a situaciones físicas, las animaciones para estudiar movimiento y comportamiento, y los entornos interactivos diseñados para conceptos de alta abstracción. El dominio conjunto de estos cinco componentes prepara al estudiante para las secciones posteriores de este capítulo, donde la visualización dinámica se combina progresivamente con la simulación, los sensores y la programación, dentro de un ecosistema digital de exploración científica cada vez más integrado.

3.1.1. Representación digital de funciones y relaciones

Las herramientas digitales de graficación permiten al estudiante construir una función matemática y observar de inmediato su representación visual, sin la lentitud y el margen de error que implica trazar dicha función a mano sobre papel cuadriculado durante una sesión de clase. Esta inmediatez cambia sustancialmente la experiencia de aprendizaje, puesto que el joven puede explorar rápidamente varias funciones relacionadas entre sí, comparando sus formas y comportamientos sin invertir el tiempo que exigiría dibujar cada una manualmente antes de proceder al análisis comparativo.

Esta rapidez exploratoria no debe, sin embargo, sustituir por completo el dibujo manual durante las primeras experiencias del estudiante con un tipo nuevo de función, puesto que dicho ejercicio manual, aunque más lento, consolida una comprensión procedimental que la construcción automática mediante software podría dejar sin desarrollar adecuadamente.

Combinar ambas modalidades, comenzando con construcciones manuales que consoliden la comprensión básica y avanzando después hacia herramientas digitales que permitan una exploración más amplia y veloz, ofrece un equilibrio pedagógico que aprovecha las ventajas de cada enfoque sin renunciar a los beneficios formativos del trabajo manual inicial.

Este equilibrio puede formalizarse mediante una secuencia didáctica explícita al inicio de cada unidad temática, donde la primera sesión se dedica exclusivamente a la construcción manual y solo la segunda sesión introduce la herramienta digital, evitando que el estudiante recurra prematuramente al atajo tecnológico antes de haber comprendido genuinamente el procedimiento subyacente.

3.1.2. Exploración gráfica de cambios entre variables

Manipular directamente los parámetros de una función mediante deslizadores digitales, observando en tiempo real cómo dicha manipulación modifica la gráfica correspondiente, permite al estudiante desarrollar una intuición sobre el papel de cada parámetro que resulta considerablemente más difícil de alcanzar mediante la sola observación de gráficas estáticas presentadas en un libro de texto. Esta exploración interactiva resulta particularmente valiosa para comprender el efecto de constantes que modifican la posición, la amplitud o la inclinación de una curva, aspectos que suelen presentarse de manera abstracta en la enseñanza tradicional y que la manipulación directa convierte en experiencias visuales concretas y memorables.

Proponer al estudiante retos específicos, tales como ajustar los parámetros de una función hasta que su gráfica pase exactamente por ciertos puntos dados, transforma esta exploración en una actividad con propósito claro, evitando que la manipulación de deslizadores se convierta en un juego sin dirección pedagógica definida. Esta práctica dirigida fortalece además la conexión con el tratamiento matemático de datos experimentales examinado en el Capítulo 2 de esta obra, puesto que ajustar parámetros hasta encajar una función con puntos dados replica, en esencia, el proceso de ajuste de curvas que el estudiante ya practicó con datos obtenidos en el laboratorio.

Organizar breves competencias amistosas entre equipos, donde cada uno intenta ajustar sus parámetros con el menor número posible de intentos para alcanzar un conjunto de puntos objetivo previamente definido, añade un componente lúdico que sostiene el interés del estudiante durante sesiones de práctica que, sin este elemento motivacional adicional, podrían percibirse como repetitivas o mecánicas.

3.1.3. Geometría dinámica aplicada a situaciones físicas

El software de geometría dinámica, tradicionalmente asociado a la enseñanza de la geometría pura, ofrece además posibilidades valiosas para representar situaciones físicas que involucran ángulos, distancias y trayectorias, tendiendo un puente natural entre ambas disciplinas que se ha desarrollado a lo largo de esta obra. La Tabla 11 sistematiza aplicaciones concretas de la geometría dinámica en situaciones físicas, tales como la representación de trayectorias parabólicas, el análisis de ángulos de incidencia y reflexión en óptica, o la construcción de diagramas de fuerzas con magnitud y dirección ajustables de manera interactiva.

Esta aplicación cruzada entre geometría y física exige del docente una planificación cuidadosa que identifique con precisión qué situaciones físicas se benefician genuinamente de esta representación dinámica, evitando emplear la herramienta de manera forzada en contextos donde una representación más simple resultaría igualmente efectiva y considerablemente menos costosa en tiempo de preparación. Cuando esta aplicación se elige con criterio, sin embargo, ofrece a los estudiantes una comprensión integrada de ambas disciplinas, mostrando de manera tangible cómo los conceptos geométricos estudiados en la asignatura de matemáticas resultan directamente aplicables a los fenómenos físicos que simultáneamente exploran en la asignatura de ciencias.

Díaz-Nunja et al. (2018) documentan que esta integración fortalece particularmente las capacidades de demostración y comunicación matemática del estudiante, quien debe justificar con precisión por qué una construcción geométrica determinada representa fielmente la situación física que pretende modelar, exigencia que combina simultáneamente rigor matemático y comprensión física del fenómeno estudiado.

Tabla 11*Aplicaciones de la geometría dinámica en situaciones físicas*

Situación física	Elemento geométrico involucrado	Aporte de la geometría dinámica
Trayectoria parabólica	Ángulo de lanzamiento, distancia recorrida	Visualizar el efecto del ángulo en la trayectoria
Reflexión y refracción de la luz	Ángulo de incidencia y de refracción	Verificar relaciones angulares de manera interactiva
Diagramas de fuerzas	Magnitud y dirección de vectores	Construir y ajustar vectores de fuerza dinámicamente

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

3.1.4. Animaciones para estudiar movimiento y comportamiento

Las animaciones permiten representar la evolución temporal de un sistema físico de manera continua, mostrando al estudiante el comportamiento completo del fenómeno en lugar de fotografías estáticas correspondientes a instantes puntuales que exigen un esfuerzo mental adicional para reconstruir mentalmente el proceso completo. Esta representación continua resulta particularmente valiosa para fenómenos que ocurren demasiado rápido o demasiado lento para la observación directa a simple vista, tales como la propagación de una onda o el movimiento oscilatorio de alta frecuencia, situaciones donde la animación digital revela detalles que la observación directa simplemente no puede captar.

Pausar la animación en momentos clave, y pedir al estudiante que prediga qué ocurrirá en el instante siguiente antes de reanudarla, convierte la observación pasiva en un ejercicio activo de razonamiento predictivo que fortalece considerablemente la comprensión conceptual del fenómeno representado. Esta técnica de pausa y predicción retoma, en un formato digital, la misma lógica pedagógica

examinada en la subsección 2.4.1 del Capítulo 2 de esta obra, donde se propuso predecir cualitativamente resultados experimentales antes de obtenerlos, confirmando que ciertos principios didácticos resultan igualmente valiosos en contextos analógicos y digitales.



Elaborar un breve banco de animaciones cuidadosamente seleccionadas para los fenómenos más difíciles de visualizar del programa curricular, en lugar de buscar apresuradamente un recurso nuevo cada vez que surge la necesidad en clase, permite al docente construir con el tiempo una biblioteca de materiales confiables cuya calidad pedagógica ya ha sido evaluada y ajustada a través de la experiencia de aplicación en cursos anteriores. Esta biblioteca acumulada reduce considerablemente el tiempo de preparación de cada sesión y garantiza una consistencia formativa que resultaría difícil de sostener si cada clase dependiera de materiales seleccionados de manera improvisada.

3.1.5. Entornos interactivos para conceptos de alta abstracción

Ciertos conceptos científicos y matemáticos, tales como el comportamiento de partículas subatómicas o las funciones de varias variables, resultan particularmente difíciles de visualizar mediante representaciones tradicionales, situación donde los entornos interactivos ofrecen posibilidades que ningún diagrama estático podría igualar. La Figura 8 representa las características de los entornos interactivos más valiosos para la exploración de estos conceptos de alta abstracción, destacando la manipulación directa de variables múltiples, la retroalimentación visual inmediata y la posibilidad de explorar casos extremos que resultarían imposibles o peligrosos de reproducir físicamente en el aula.

Estos entornos deben seleccionarse con criterio pedagógico riguroso, evaluando si efectivamente facilitan la comprensión del concepto abordado o si, por el contrario, añaden una complejidad tecnológica que distrae al estudiante del contenido científico que se pretende enseñar, distinción que exige del docente una evaluación previa cuidadosa antes de incorporar cualquier herramienta nueva al aula. Probar personalmente cualquier entorno interactivo nuevo antes de presentarlo al curso completo, dedicando tiempo suficiente a explorar sus funciones y sus posibles dificultades técnicas, evita interrupciones incómodas durante la clase y permite al docente anticipar las preguntas y confusiones más probables que el estudiante podría experimentar al utilizarlo por primera vez. Esta preparación previa, aunque exige tiempo adicional fuera del horario lectivo, marca con frecuencia la diferencia entre una sesión fluida y productiva y una sesión entorpecida por obstáculos técnicos imprevistos que consumen minutos valiosos de la clase.

Esta sección ha desarrollado cinco formas de visualización dinámica que enriquecen la comprensión de conceptos matemáticos y físicos. La sección siguiente avanza hacia la simulación

computacional, donde estas representaciones se integran dentro de modelos capaces de predecir el comportamiento de sistemas completos.

Figura 8

Características de los entornos interactivos para la exploración científica



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

3.2. Simulación computacional de fenómenos

La simulación computacional construye modelos digitales de sistemas físicos que el estudiante puede explorar, modificar y poner a prueba sin las limitaciones materiales y de seguridad que impone la experimentación física directa. Álvarez-Siordia et al. (2025) documentan que el uso de simuladores en la enseñanza de la física genera efectos positivos comparables, e incluso superiores en ciertos aspectos motivacionales, a los que produce el trabajo tradicional de laboratorio. Cinco componentes de esta simulación se examinan en

esta sección: la construcción virtual de escenarios físicos, la manipulación de parámetros y condiciones iniciales, la predicción del comportamiento de sistemas, la comparación entre simulación y experimentación, y las limitaciones que todo resultado simulado conlleva.

Estos cinco componentes conducen progresivamente al estudiante desde la construcción inicial de un modelo digital hasta una postura crítica frente a sus propios resultados, itinerario que refleja la misma actitud investigativa cultivada a lo largo del Capítulo 2 de esta obra, ahora aplicada al terreno específico de la simulación computacional.

3.2.1. Construcción virtual de escenarios físicos

Construir un escenario físico dentro de un simulador exige que el estudiante identifique previamente qué elementos del fenómeno real resultan relevantes para incluir en el modelo digital, ejercicio que retoma directamente la identificación de variables examinada en la subsección 2.1.3 del Capítulo 2 de esta obra. Esta construcción no debe entenderse como una tarea puramente técnica de configuración de un software, sino como una decisión conceptual que exige comprender previamente la física del fenómeno que se pretende representar, decisión que revela con frecuencia vacíos de comprensión que de otro modo permanecerían ocultos.

Permitir que distintos equipos construyan escenarios ligeramente diferentes para un mismo fenómeno, y comparar después sus decisiones de diseño frente al grupo completo, convierte esta construcción en una oportunidad de discusión colectiva sobre qué elementos resultan verdaderamente esenciales para representar un fenómeno con fidelidad razonable. Esta discusión colectiva fortalece, además, la capacidad crítica del estudiante para evaluar simulaciones que encontrará posteriormente fuera del aula, dotándolo de criterios

propios para distinguir un modelo digital cuidadosamente construido de uno que simplifica excesivamente el fenómeno que pretende representar.

Documentar por escrito, junto a cada escenario construido, las decisiones de diseño adoptadas y las razones que las justifican, siguiendo la misma disciplina de explicitación de supuestos examinada en la subsección 1.5.2 del primer capítulo de esta obra, convierte la construcción del escenario en un ejercicio de metacognición donde el estudiante no solo construye un modelo, sino que además articula conscientemente el razonamiento que sostiene cada una de sus decisiones. Esta primera etapa de construcción, cuando se aborda con el cuidado conceptual descrito en esta subsección, condiciona favorablemente la calidad de todo el trabajo posterior con el simulador, puesto que un escenario mal concebido desde el inicio difícilmente podrá corregirse satisfactoriamente en etapas más avanzadas del proceso de exploración computacional.

3.2.2. Manipulación de parámetros y condiciones iniciales

Modificar los parámetros y las condiciones iniciales de una simulación permite al estudiante explorar rápidamente múltiples escenarios que resultarían prohibitivamente costosos o lentos de reproducir mediante experimentación física repetida en el laboratorio escolar. Esta exploración veloz favorece un aprendizaje por descubrimiento particularmente rico, donde el joven puede formular hipótesis propias sobre el efecto de un parámetro determinado y verificarlas de inmediato, ciclo que se repite numerosas veces dentro de una única sesión de trabajo con el simulador.

Guiar esta exploración mediante preguntas específicas, en lugar de dejar al estudiante manipular parámetros sin propósito claro, evita que la riqueza del simulador se diluya en una experimentación errática que no conduce a ninguna conclusión sustantiva sobre el

fenómeno estudiado. Registrar sistemáticamente los resultados de esta exploración en una tabla, siguiendo las prácticas de organización de datos examinadas en la subsección 2.3.1 del capítulo anterior, permite además tratar la información generada por el simulador con el mismo rigor que se aplicaría a datos obtenidos experimentalmente.

Establecer, antes de comenzar la exploración, un límite razonable en el número de combinaciones de parámetros que cada equipo probará, evita que la sesión se disperse en una manipulación indefinida sin llegar nunca a la etapa de análisis, y enseña además al estudiante una disciplina de planificación previa que resultará igualmente valiosa cuando enfrente investigaciones más amplias y con recursos de tiempo considerablemente más limitados en el futuro.

3.2.3. Predicción del comportamiento de sistemas

Utilizar una simulación para predecir el comportamiento futuro de un sistema, antes de que dicho comportamiento se manifieste efectivamente, constituye una de las aplicaciones más valiosas de estas herramientas, permitiendo anticipar consecuencias de decisiones de diseño sin necesidad de construir físicamente cada alternativa considerada. Esta capacidad predictiva conecta directamente con la modelización examinada en la sección 1.5 del Capítulo 1 de esta obra, puesto que toda simulación computacional constituye, en esencia, un modelo matemático implementado como código ejecutable que genera predicciones a partir de las condiciones que el usuario especifica.

Contrastar las predicciones generadas por el simulador con el conocimiento teórico previo del estudiante, antes de aceptarlas acríticamente, fortalece el hábito de verificación de razonabilidad examinado en la subsección 2.5.2 del capítulo anterior, recordando que ningún resultado, provenga de un experimento físico o de una simulación digital, debe aceptarse sin cuestionamiento crítico.

Proponer al estudiante que registre por escrito su predicción antes de ejecutar la simulación, siguiendo la misma disciplina de registro previo examinada en la subsección 2.1.4 del Capítulo 2 de esta obra, convierte cada ejecución del simulador en una prueba genuina de sus propias hipótesis, y no en una simple observación pasiva de un resultado ya determinado de antemano por el programa.

Esta ejercitación sistemática de la predicción, sostenida a lo largo de numerosas simulaciones distintas durante el curso, fortalece progresivamente la intuición física del estudiante sobre el comportamiento de sistemas dinámicos, intuición que resulta considerablemente más difícil de desarrollar mediante la sola lectura de fórmulas sin esta práctica reiterada de anticipación y verificación.

3.2.4. Comparación entre simulación y experimentación

Comparar los resultados de una simulación con los obtenidos mediante experimentación física directa, cuando ambas opciones resultan viables para un mismo fenómeno, ofrece al estudiante una oportunidad valiosa para reflexionar sobre las fortalezas y limitaciones particulares de cada aproximación. La Tabla 12 sistematiza la comparación entre experimentación física y simulación computacional, distinguiendo aspectos donde cada modalidad resulta particularmente ventajosa, tales como el costo, la seguridad, el realismo y la posibilidad de repetición rápida bajo condiciones controladas.

Diseñar actividades donde el estudiante primero simule un fenómeno y después lo reproduzca físicamente, comparando explícitamente ambos conjuntos de resultados, constituye una estrategia particularmente rica que integra las competencias desarrolladas tanto en este capítulo como en el Capítulo 2 de esta obra dedicado a la investigación experimental. Esta comparación directa suele revelar discrepancias interesantes entre el modelo simplificado

que sustenta la simulación y la complejidad del fenómeno real, discrepancias que, lejos de desalentar al estudiante, ofrecen una oportunidad valiosa para discutir los supuestos simplificadores examinados en la subsección 1.5.2 del primer capítulo de esta obra.

Elaborar un breve reporte comparativo donde el estudiante enumere explícitamente las diferencias observadas entre ambos métodos y proponga una explicación razonada para cada una, en lugar de limitarse a constatar que existen diferencias sin profundizar en sus causas, transforma esta comparación en un ejercicio de análisis crítico que consolida simultáneamente las competencias experimentales y digitales desarrolladas a lo largo de esta obra.

Tabla 12

Comparación entre experimentación física y simulación computacional

Aspecto	Experimentación física	Simulación computacional
Costo de materiales	Puede requerir equipamiento específico	Generalmente bajo, requiere solo un dispositivo
Seguridad	Exige protocolos ante riesgos reales	Permite explorar situaciones peligrosas sin riesgo
Fidelidad al fenómeno real	Captura la complejidad completa del sistema	Limitada a los supuestos del modelo programado
Velocidad de repetición	Limitada por el tiempo de montaje y medición	Permite repetir y variar condiciones rápidamente

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

3.2.5. Limitaciones de los resultados simulados

Todo resultado generado por una simulación hereda las limitaciones del modelo matemático subyacente, limitaciones que el estudiante debe aprender a reconocer para evitar una confianza excesiva en la precisión de cualquier resultado que un software le presente con apariencia de exactitud. Esta conciencia crítica resulta

particularmente importante en una época donde numerosas aplicaciones y videojuegos incorporan simulaciones físicas que priorizan el entretenimiento visual por encima del rigor científico, distinción que el estudiante debe aprender a reconocer para no confundir ambos tipos de representación.

Presentar deliberadamente al estudiante casos donde una simulación simplificada produce resultados considerablemente distintos de los observados experimentalmente, y discutir en conjunto por qué ocurre dicha discrepancia, fortalece esta conciencia crítica de manera considerablemente más efectiva que una simple advertencia teórica sobre los límites de las simulaciones. Cultivar esta actitud crítica hacia las simulaciones desde el bachillerato prepara al estudiante para un entorno profesional y cotidiano donde los modelos digitales influyen crecientemente en decisiones importantes, desde pronósticos meteorológicos hasta proyecciones económicas, contextos donde la capacidad de distinguir un modelo confiable de uno excesivamente simplificado constituye una competencia ciudadana valiosa que trasciende ampliamente el ámbito específico de la física escolar.

Álvarez-Siordia et al. (2025) documentan que, pese a estas limitaciones inherentes a todo modelo simplificado, los beneficios motivacionales y conceptuales que aportan los simuladores educativos superan con frecuencia sus costos, siempre que el docente acompañe su uso con la reflexión crítica examinada a lo largo de esta sección, evitando una adopción acrítica que ignore por completo dichas limitaciones. Este capítulo ha desarrollado hasta este punto la visualización dinámica y la simulación computacional como herramientas digitales complementarias a la experimentación física. La sección siguiente examina los sensores, que tienden un puente directo entre ambos mundos al capturar digitalmente magnitudes físicas reales.

3.3. Sensores para el estudio cuantitativo del entorno

Los sensores digitales capturan magnitudes físicas del entorno real y las traducen en datos que el estudiante puede procesar matemáticamente, combinando así el rigor de la medición experimental examinada en el Capítulo 2 con la velocidad y precisión que ofrece la captura automatizada de datos. Alegre Buj y Cuetos Revuelta (2021) documentan que el uso de sensores accesibles, tales como los que ofrece la plataforma Arduino, permite implementar prácticas de calidad en instituciones con recursos económicos limitados. Cinco aspectos del uso de sensores se examinan a continuación: la captura digital de magnitudes físicas, el registro automatizado de mediciones, el seguimiento de variables en tiempo real, el procesamiento de información procedente de sensores, y la interpretación de series de datos obtenidas digitalmente.



Estos cinco aspectos permiten al estudiante experimentar de primera mano cómo la tecnología amplía, sin sustituir, las capacidades sensoriales humanas para percibir el mundo físico, ampliación que constituye precisamente el aporte más genuino que los sensores digitales ofrecen a la investigación científica escolar.

3.3.1. Captura digital de magnitudes físicas

Los sensores traducen magnitudes físicas continuas, tales como temperatura, luz o distancia, en señales digitales que un dispositivo puede almacenar y procesar, eliminando buena parte del margen de error humano asociado a la lectura manual de instrumentos tradicionales. Esta captura automatizada libera al estudiante de la tarea repetitiva de leer y registrar valores manualmente, permitiéndole concentrar su atención en preguntas de nivel superior sobre el significado y la interpretación de los datos recolectados, en lugar de agotar su energía en el proceso mecánico de recolección.

Introducir al estudiante en el funcionamiento básico de un sensor sencillo, explicando de manera accesible cómo una magnitud física se convierte en una señal eléctrica interpretable, evita que la tecnología funcione como una caja negra incomprensible y fortalece en cambio la alfabetización tecnológica que el enfoque STEAM persigue de manera transversal. Esta comprensión básica del funcionamiento sensorial conecta, además, con los sistemas de unidades examinados en la subsección 2.2.1 del capítulo anterior, puesto que todo sensor requiere una calibración previa que traduce su señal eléctrica bruta hacia unidades físicas interpretables por el estudiante.

Comparar deliberadamente la lectura de un sensor con una medición manual del mismo fenómeno, realizada simultáneamente mediante un instrumento tradicional, ofrece al estudiante una oportunidad valiosa para verificar la fiabilidad del sensor y para comprender de manera concreta que, pese a su apariencia tecnológica sofisticada, este continúa sujeto a las mismas nociones de precisión, exactitud e incertidumbre examinadas extensamente en el Capítulo 2 de esta obra. Esta comparación inicial entre sensor e instrumento tradicional, realizada de manera deliberada al comienzo de cualquier proyecto que incorpore captura automatizada de datos, establece además una base de confianza compartida entre el estudiante y la

tecnología que empleará, confianza que resulta indispensable para que el joven se apoye posteriormente en el sensor con la misma seguridad crítica que aplicaría a cualquier otro instrumento del laboratorio escolar.

3.3.2. Registro automatizado de mediciones

El registro automatizado permite capturar mediciones con una frecuencia y una duración que resultarían imprácticas mediante observación manual, generando conjuntos de datos considerablemente más ricos que los que un estudiante podría recolectar registrando valores a mano durante una sesión de clase típica. La Figura 9 representa el proceso de registro automatizado de mediciones mediante sensores, ilustrando el tránsito desde la captura de la señal física, pasando por su conversión digital, hasta el almacenamiento estructurado de los datos en un formato que el estudiante puede analizar posteriormente.

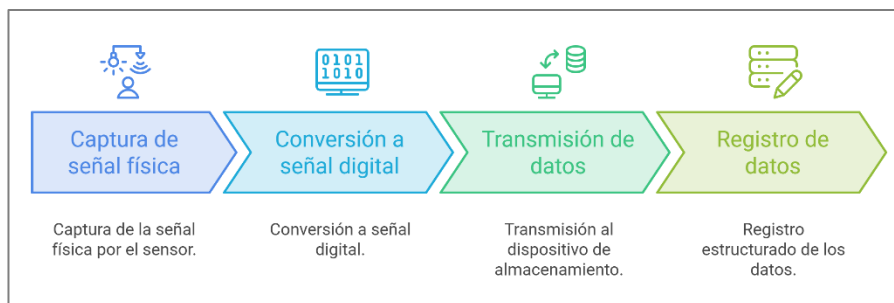
Esta capacidad de registro extendido en el tiempo abre posibilidades formativas particularmente interesantes, tales como monitorear la temperatura de un ambiente durante todo un día escolar o registrar la intensidad luminosa a lo largo de varias semanas, proyectos que serían completamente inviables sin automatización. Diseñar estos proyectos de registro extendido como tareas que se desarrollan a lo largo de varias sesiones, en lugar de limitarse a mediciones puntuales dentro de una única clase, permite al estudiante experimentar de primera mano el valor añadido que la automatización aporta a la investigación científica escolar.

Coordinar estos proyectos de registro prolongado con otras asignaturas del currículo, tales como Geografía para el monitoreo climático o Biología para el seguimiento de variables ambientales relacionadas con seres vivos, refuerza la convergencia interdisciplinaria propia del enfoque STEAM, mostrando al estudiante

que la automatización de mediciones trasciende ampliamente los límites de una única asignatura escolar.

Figura 9

Proceso de registro automatizado de mediciones mediante sensores



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

3.3.3. Seguimiento de variables en tiempo real

Visualizar en tiempo real cómo cambia una magnitud física mientras el sensor la captura permite al estudiante establecer una conexión inmediata entre la acción que realiza sobre el sistema físico y el efecto que observa simultáneamente en la lectura numérica que aparece en pantalla. Esta retroalimentación instantánea resulta particularmente valiosa para consolidar relaciones causales, tales como observar cómo la temperatura registrada por un sensor aumenta progresivamente mientras se acerca una fuente de calor, experiencia que fortalece la comprensión intuitiva del fenómeno de manera considerablemente más directa que examinar dicha relación únicamente después de finalizado el experimento.

Proponer al estudiante que module deliberadamente una variable mientras observa el efecto en tiempo real sobre la lectura del sensor, tales como acercar y alejar progresivamente un objeto de un sensor de distancia, convierte esta observación en un ejercicio activo

de exploración causal dirigido por el propio estudiante. Este seguimiento en vivo resulta además particularmente eficaz para detectar de inmediato fallas de montaje o de calibración, puesto que una lectura que no responde de manera coherente a la manipulación directa del estudiante señala, sin necesidad de esperar hasta el análisis posterior de los datos, que algo requiere revisión antes de continuar con la recolección sistemática de mediciones.

Proyectar la lectura del sensor en una pantalla visible para todo el curso, en lugar de limitarla a la pantalla individual de cada equipo de trabajo, permite además que la clase completa participe de la discusión sobre lo observado en tiempo real, convirtiendo lo que podría ser una experiencia aislada de un pequeño grupo en un momento de aprendizaje colectivo compartido por todos los estudiantes presentes.

3.3.4. Procesamiento de información procedente de sensores

Los datos capturados por un sensor rara vez resultan directamente interpretables sin un procesamiento posterior, exigiendo del estudiante aplicar las herramientas de organización y tratamiento matemático examinadas en la sección 2.3 del Capítulo 2 de esta obra a un conjunto de datos que, por su volumen, suele superar considerablemente al obtenido mediante mediciones manuales tradicionales. Este mayor volumen de datos exige, además, herramientas específicas de procesamiento digital que el estudiante debe aprender a utilizar, tales como filtros que eliminan lecturas anómalas o promedios móviles que suavizan las fluctuaciones aleatorias inherentes a cualquier sensor real.

Introducir estas herramientas de procesamiento de manera gradual, comenzando con conjuntos de datos relativamente pequeños antes de avanzar hacia registros más extensos, permite al estudiante consolidar progresivamente las competencias técnicas necesarias sin verse abrumado por la complejidad que un procesamiento avanzado

podría representar desde el inicio. Esta gradualidad en la introducción de herramientas de procesamiento constituye, en definitiva, la misma lógica pedagógica que ha orientado el desarrollo de competencias a lo largo de toda esta obra, priorizando siempre la comprensión sólida por encima de la exposición prematura a técnicas excesivamente sofisticadas para el nivel del estudiante.

Explicar con claridad qué hace exactamente cada herramienta de procesamiento antes de que el estudiante la aplique de manera automática, evitando que un filtro o un promedio móvil se conviertan en operaciones misteriosas ejecutadas sin comprensión real, resulta particularmente importante para que el estudiante mantenga siempre control crítico sobre las transformaciones que aplica a sus propios datos, en lugar de delegar dicho control ciegamente al software empleado. Alegre Buj y Cuetos Revuelta (2021) destacan que el procesamiento de los datos generados mediante plataformas accesibles como Arduino puede realizarse con herramientas de hoja de cálculo ya familiares para el estudiante, evitando la necesidad de introducir software especializado adicional cuando los recursos institucionales o el tiempo disponible en el curso resultan particularmente limitados.

3.3.5. Interpretación de series de datos obtenidas digitalmente

Interpretar una serie de datos obtenida digitalmente exige que el estudiante distinga entre las tendencias genuinas del fenómeno estudiado y las fluctuaciones aleatorias propias de cualquier sistema de medición, distinción que retoma directamente la comprensión de incertidumbre y error examinada en la subsección 2.2.4 del capítulo anterior. La Tabla 13 sistematiza criterios para interpretar series de datos obtenidas mediante sensores, orientando al estudiante sobre cómo distinguir patrones periódicos, tendencias sostenidas y valores atípicos que podrían indicar un funcionamiento defectuoso del sensor o del montaje experimental.

Esta capacidad interpretativa, desarrollada específicamente con datos obtenidos mediante sensores, resulta directamente transferible a la interpretación de series temporales que el estudiante encontrará en numerosos contextos posteriores, desde reportes meteorológicos hasta indicadores económicos presentados en medios de comunicación. Presentar al estudiante, de manera ocasional, series de datos reales publicadas por instituciones científicas o meteorológicas de su propio país, y pedirle que aplique los mismos criterios interpretativos desarrollados con sus propios sensores escolares, tiende un puente valioso entre la práctica de aula y el ejercicio de una ciudadanía científica informada capaz de leer con criterio la información cuantitativa que encuentra cotidianamente en la prensa y en otros medios públicos.

Esta sección ha desarrollado el uso de sensores como puente entre la experimentación física examinada en el Capítulo 2 y las herramientas digitales de análisis desarrolladas a lo largo de este capítulo. La sección siguiente avanza hacia la programación, que permite al estudiante automatizar y extender considerablemente estas capacidades de procesamiento.

Tabla 13

Criterios para interpretar series de datos obtenidas mediante sensores

Patrón observado	Interpretación probable	Acción sugerida
Tendencia sostenida en una dirección	Cambio real y progresivo del fenómeno	Ajustar el modelo matemático al comportamiento observado
Oscilación periódica regular	Fenómeno cíclico o repetitivo	Medir el periodo y analizar su relación con otras variables
Valor atípico aislado	Posible error de medición o interferencia	Verificar el montaje antes de descartar el dato

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

3.4. Programación aplicada a problemas matemático-físicos

La programación permite al estudiante automatizar procedimientos matemáticos y físicos que, realizados manualmente, consumirían un tiempo considerable, liberando dicho tiempo para concentrarse en el análisis e interpretación de los resultados obtenidos. García (2017) documenta que introducir la programación textual desde la educación secundaria, y no únicamente mediante entornos de bloques simplificados, prepara al estudiante para un tránsito más fluido hacia estudios superiores que exigen competencias de programación más avanzadas.



Cinco componentes de esta programación aplicada se examinan en esta sección: la construcción de algoritmos para procedimientos matemáticos, la automatización de cálculos científicos, la representación computacional de leyes físicas, el desarrollo de simulaciones mediante código, y la verificación de resultados mediante procedimientos computacionales. Estos cinco componentes conducen al estudiante desde el diseño lógico de un procedimiento hasta su implementación y verificación completas,

recorrido que sintetiza en un formato aplicado las competencias matemáticas y físicas desarrolladas a lo largo de los capítulos anteriores de esta obra.

3.4.1. Construcción de algoritmos para procedimientos matemáticos

Construir un algoritmo exige que el estudiante descomponga un procedimiento matemático en pasos precisos y ordenados, ejercicio que fortalece considerablemente la comprensión de dicho procedimiento incluso antes de que el algoritmo llegue a ejecutarse efectivamente mediante código en un dispositivo. Esta descomposición explícita revela con frecuencia vacíos de comprensión que permanecían ocultos mientras el estudiante aplicaba el procedimiento de manera mecánica sin cuestionar el orden o la necesidad de cada paso individual involucrado en dicho procedimiento matemático.

Practicar esta construcción de algoritmos inicialmente en papel, mediante diagramas de flujo o pseudocódigo sencillo, antes de traducirlos a un lenguaje de programación específico, permite al estudiante concentrarse en la lógica del procedimiento sin la carga adicional que implica dominar simultáneamente la sintaxis particular de dicho lenguaje. Esta separación entre el diseño lógico del algoritmo y su implementación técnica posterior constituye una práctica recomendable que reduce considerablemente la frustración inicial de estudiantes que recién comienzan a programar, permitiéndoles consolidar primero el razonamiento algorítmico antes de enfrentar los detalles técnicos de un lenguaje concreto.

García (2017) documenta que introducir a los estudiantes de secundaria directamente en un lenguaje de programación textual, en lugar de limitarlos indefinidamente a entornos de bloques simplificados, resulta viable y formativamente valioso cuando dicha

introducción se acompaña de un andamiaje pedagógico adecuado que respete el ritmo de aprendizaje particular de cada estudiante. Seleccionar un lenguaje de programación accesible y ampliamente documentado, con una comunidad activa de usuarios que genera abundante material de consulta gratuito, facilita considerablemente que el estudiante pueda resolver por sí mismo dudas técnicas menores fuera del horario de clase, fomentando una autonomía creciente que complementa, sin sustituir, el acompañamiento directo que el docente ofrece durante las sesiones presenciales de programación.

3.4.2. Automatización de cálculos científicos

Automatizar cálculos científicos mediante un programa breve permite al estudiante repetir un mismo procedimiento sobre múltiples conjuntos de datos con rapidez y consistencia, evitando los errores que con frecuencia se acumulan al repetir manualmente una misma secuencia de operaciones aritméticas. La Tabla 14 sistematiza aplicaciones habituales de la automatización de cálculos en problemas científico-matemáticos escolares, tales como calcular automáticamente la media y la desviación estándar de un conjunto de mediciones, o evaluar una función física para múltiples valores de una variable de manera sucesiva.

Esta automatización libera al estudiante de la carga mecánica del cálculo repetitivo, permitiéndole dedicar su atención a preguntas de mayor nivel sobre la interpretación de los resultados obtenidos, en lugar de agotar su energía en operaciones aritméticas que un programa breve puede ejecutar en fracciones de segundo. Esta redistribución del esfuerzo cognitivo, desde el cálculo mecánico hacia la interpretación crítica, refleja un cambio pedagógico significativo que numerosas instituciones de bachillerato están adoptando progresivamente, reconociendo que la competencia de programar pequeños scripts resulta cada vez más relevante para la formación científica contemporánea.

Construir de manera colectiva, a lo largo del año escolar, una colección compartida de pequeños programas reutilizables para las tareas de cálculo más frecuentes del curso, disponible para consulta de todos los estudiantes, transforma la automatización en un recurso institucional acumulativo que crece y se enriquece con cada nueva generación de estudiantes que contribuye a perfeccionarlo.

Tabla 14

Aplicaciones de la automatización de cálculos en problemas científico-matemáticos

Tarea	Cálculo automatizado	Beneficio principal
Análisis estadístico de mediciones	Media, desviación estándar, valores extremos	Rapidez y consistencia frente al cálculo manual
Evaluación de funciones	Cálculo de una función para múltiples valores	Exploración veloz del comportamiento funcional
Conversión de unidades	Transformación sistemática entre sistemas	Reducción de errores de conversión manual

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

3.4.3. Representación computacional de leyes físicas

Traducir una ley física conocida hacia código ejecutable exige que el estudiante comprenda con precisión cada término de la ecuación correspondiente, puesto que un programa no tolera la ambigüedad que a veces se permite en una explicación puramente verbal del mismo fenómeno. Esta exigencia de precisión convierte la programación en una herramienta de verificación conceptual particularmente valiosa, puesto que un estudiante que comprende superficialmente una ley física con frecuencia descubre, al intentar programarla, que su comprensión presenta vacíos que no se manifestaban durante la resolución tradicional de ejercicios sobre papel.

Pedir al estudiante que programe una ley física sencilla y luego compare los resultados generados por su programa con valores conocidos o calculados manualmente, ofrece un mecanismo de verificación doble que fortalece simultáneamente tanto la comprensión física del fenómeno como la competencia de programación desarrollada. Extender este ejercicio hacia leyes físicas progresivamente más complejas, una vez que el estudiante domina el procedimiento con casos sencillos, permite consolidar de manera acumulativa un repertorio propio de código verificado que podrá reutilizar y adaptar en proyectos posteriores dentro del mismo curso o en cursos subsiguientes de la asignatura.

Esta traducción de leyes físicas hacia código constituye, además, una síntesis particularmente elocuente de los tres primeros capítulos de esta obra, puesto que exige simultáneamente el rigor conceptual examinado en el Capítulo 1, la sensibilidad hacia la evidencia empírica cultivada en el Capítulo 2, y las competencias digitales desarrolladas a lo largo de este tercer capítulo.

3.4.4. Desarrollo de simulaciones mediante código

Desarrollar una simulación propia mediante código, en lugar de utilizar exclusivamente simuladores prediseñados examinados en la sección 3.2 de este capítulo, ofrece al estudiante una comprensión considerablemente más profunda del modelo matemático subyacente, puesto que debe explicitar cada supuesto y cada relación que dicho modelo incorpora. Este desarrollo propio, aunque inicialmente más exigente que utilizar una herramienta ya construida por terceros, genera un sentido de apropiación y comprensión que ninguna simulación externa, por bien diseñada que resulte, podría ofrecer con la misma profundidad formativa.

Comenzar con simulaciones extremadamente simples, tales como el movimiento de un objeto a velocidad constante representado

mediante pocas líneas de código, antes de avanzar hacia sistemas más complejos que incorporan fuerzas variables o múltiples cuerpos interactuantes, permite una progresión pedagógica gradual y sostenible a lo largo del curso escolar. Esta progresión gradual conecta directamente con el principio de andamiaje pedagógico que ha orientado el desarrollo completo de esta obra, confirmando que la programación de simulaciones, como cualquier otra competencia compleja examinada en capítulos anteriores, se construye mejor mediante pasos sucesivos que mediante una exposición prematura a la complejidad completa.

Compartir en clase el código fuente de las simulaciones desarrolladas por distintos equipos, con explicaciones breves de cada estudiante sobre las decisiones de diseño tomadas, fomenta un ambiente de aprendizaje colaborativo donde las buenas prácticas de programación se transmiten de manera horizontal entre pares, complementando el acompañamiento directo que el docente puede ofrecer individualmente durante el desarrollo del proyecto.

3.4.5. Verificación de resultados mediante procedimientos computacionales

Verificar computacionalmente un resultado obtenido previamente mediante cálculo manual, o viceversa, ofrece al estudiante un mecanismo de control cruzado que fortalece la confianza en sus propias conclusiones y, simultáneamente, entrena el hábito de cuestionar resultados que no coinciden entre ambos métodos. Esta práctica de verificación cruzada resulta particularmente valiosa para detectar errores conceptuales que un cálculo aislado podría no revelar, puesto que una discrepancia entre el resultado manual y el computacional obliga al estudiante a examinar cuidadosamente ambos procedimientos hasta identificar el origen exacto de dicha discrepancia.

Institucionalizar esta verificación cruzada como paso final obligatorio de cualquier tarea que combine cálculo manual y programación, en lugar de tratarla como un ejercicio opcional adicional, comunica al estudiante que ambas competencias se valoran de manera conjunta y que ninguna de las dos sustituye completamente a la otra dentro de la formación científica integral que esta obra propone. Documentar los casos donde esta verificación cruzada efectivamente reveló un error, en lugar de descartar dichos episodios como simples contratiempos superados, construye con el tiempo un archivo valioso de aprendizajes concretos que el docente puede compartir con futuras generaciones de estudiantes como ejemplos reales de la utilidad genuina de esta práctica de doble verificación.

Esta sección ha desarrollado el papel de la programación como herramienta que automatiza, verifica y profundiza la comprensión de procedimientos matemáticos y físicos. La sección final de este capítulo examina el pensamiento computacional, competencia transversal que subyace a todas las herramientas digitales examinadas hasta este punto.

3.5. Pensamiento computacional en el razonamiento científico

El pensamiento computacional constituye la competencia transversal que subyace a todas las herramientas digitales examinadas a lo largo de este capítulo, independientemente de si el estudiante finalmente escribe código o simplemente utiliza una herramienta ya construida por terceros. Marañón Marañón y González-García (2021) documentan que esta competencia, lejos de limitarse al ámbito de la informática, fortalece habilidades de razonamiento transferibles a prácticamente cualquier disciplina escolar, incluidas las matemáticas y las ciencias experimentales.

Cinco componentes de este pensamiento computacional cierran el presente capítulo: la descomposición de problemas

complejos, el reconocimiento de patrones, la abstracción de información relevante, el diseño secuencial de procedimientos y la evaluación y mejora continua de los algoritmos construidos. Estos cinco componentes, aunque presentados de manera secuencial en esta sección, operan en la práctica de forma entrelazada, y su dominio conjunto constituye, en definitiva, el aporte formativo más duradero que este capítulo ofrece al estudiante, mucho más allá de cualquier herramienta digital específica que eventualmente quede obsoleta.

3.5.1. Descomposición de problemas complejos

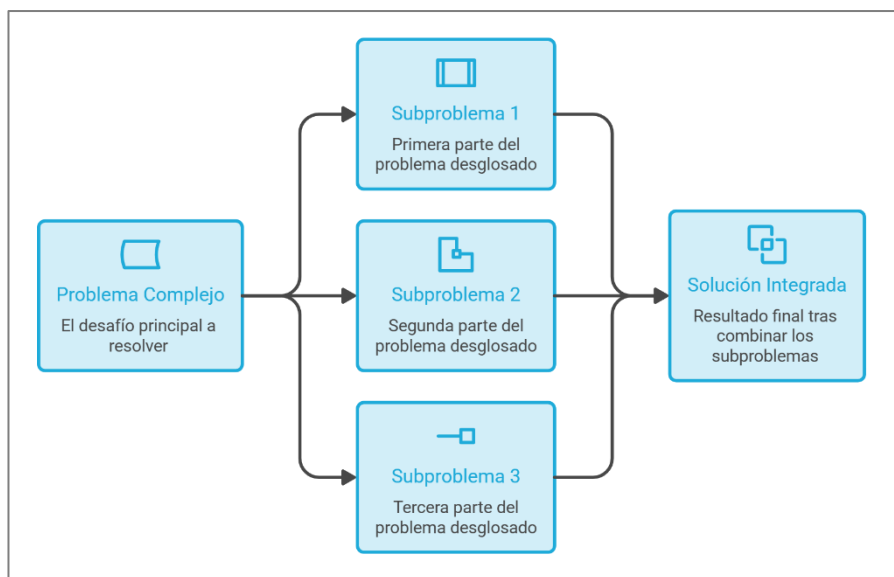
Descomponer un problema complejo en partes más pequeñas y manejables constituye, quizás, la competencia más transferible del pensamiento computacional, aplicable tanto a la resolución de un problema matemático extenso como al diseño de un experimento con múltiples variables interrelacionadas. La Figura 10 representa la descomposición de un problema complejo en componentes abordables, ilustrando cómo un desafío inicialmente abrumador se transforma, mediante esta técnica, en una secuencia de subproblemas más simples que el estudiante puede resolver de manera individual antes de integrar las soluciones parciales obtenidas.

Pérez et al. (2023) documentan que enseñar explícitamente esta habilidad de descomposición, en lugar de asumir que el estudiante la desarrollará espontáneamente, incide significativamente en su capacidad para resolver problemas matemáticos complejos dentro del contexto de la educación secundaria latinoamericana. Modelar en voz alta, frente a la clase, el proceso de descomposición de un problema particularmente desafiante, mostrando explícitamente cómo el docente identifica las partes componentes antes de abordarlas, ofrece al estudiante un ejemplo concreto de una estrategia que de otro modo permanecería como un proceso mental invisible y difícil de imitar.

Esta técnica de pensar en voz alta, aunque puede resultar incómoda para un docente poco habituado a exponer públicamente su propio proceso de razonamiento, incluidos sus titubeos y correcciones de rumbo, ofrece al estudiante un modelo considerablemente más honesto y útil que la presentación de una solución ya pulida donde el camino hacia dicha solución permanece completamente oculto. Con el tiempo, transferir gradualmente esta responsabilidad hacia los propios estudiantes, pidiéndoles que modelen en voz alta su proceso de descomposición frente a sus compañeros, consolida definitivamente esta competencia y, además, revela al docente con claridad qué aspectos del proceso siguen resultando confusos para determinados estudiantes, información valiosa para ajustar oportunamente el acompañamiento pedagógico ofrecido.

Figura 10

Descomposición de un problema complejo en componentes abordables



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

3.5.2. Reconocimiento de patrones

Reconocer patrones que se repiten entre problemas aparentemente distintos permite al estudiante transferir estrategias de resolución ya dominadas hacia situaciones nuevas, evitando la sensación de partir siempre desde cero ante cada desafío matemático o físico que se le presenta. Esta capacidad de reconocimiento se desarrolla progresivamente cuando el docente presenta, de manera deliberada, problemas que comparten una misma estructura subyacente aunque se refieran a contextos superficialmente diferentes, ayudando al estudiante a distinguir la estructura profunda del problema de los detalles superficiales del enunciado particular.

Ersozlu et al. (2023) documentan, en una revisión sistemática sobre el desarrollo del pensamiento computacional a través de las matemáticas, que esta capacidad de reconocer patrones estructurales comunes constituye uno de los aportes más consistentemente documentados de la integración entre programación y enseñanza matemática. Esta capacidad de reconocimiento de patrones conecta directamente con el reconocimiento de familias funcionales examinado en la subsección 1.3.3 del primer capítulo de esta obra, confirmando que el pensamiento computacional no introduce una competencia completamente ajena, sino que fortalece y generaliza habilidades ya cultivadas desde el estudio matemático tradicional.

Mantener un registro visible en el aula, actualizado a lo largo del curso, donde se anoten los patrones estructurales que la clase ha identificado colectivamente entre distintos problemas resueltos, construye con el tiempo un repositorio compartido de estrategias reconocibles que los estudiantes pueden consultar activamente cuando enfrentan un problema nuevo que les resulta inicialmente desconocido.

3.5.3. Abstracción de información relevante

Abstraer información relevante implica que el estudiante identifique, dentro de un problema o fenómeno complejo, qué elementos resultan verdaderamente esenciales para su resolución y cuáles pueden omitirse sin comprometer la validez de la solución finalmente obtenida. Esta capacidad de abstracción retoma directamente los supuestos simplificadores examinados en la subsección 1.5.2 del primer capítulo de esta obra, confirmando que la construcción de modelos matemáticos y el pensamiento computacional comparten un mismo principio fundamental de simplificación deliberada y consciente.

Practicar esta abstracción mediante ejercicios donde se presenta al estudiante un enunciado deliberadamente sobrecargado de información, alguna relevante y otra superflua, y se le pide identificar únicamente los datos verdaderamente necesarios para resolver el problema, fortalece esta competencia de manera considerablemente más efectiva que una explicación puramente teórica sobre su importancia. Discutir en conjunto, después de este ejercicio, por qué cada dato descartado resultaba efectivamente irrelevante para la solución particular buscada, y no simplemente innecesario en apariencia, ayuda a que el estudiante consolide un criterio propio de relevancia que podrá aplicar de manera autónoma ante enunciados y situaciones que todavía no ha encontrado.

Esta capacidad de abstracción, cultivada de manera sostenida a lo largo del curso, prepara además al estudiante para el trabajo de diseño de ingeniería examinado en el Capítulo 4 de esta obra, donde identificar correctamente los requisitos esenciales de un problema, descartando restricciones secundarias o meramente aparentes, constituye una de las primeras y más determinantes etapas de cualquier proceso de diseño técnico exitoso.

3.5.4. Diseño secuencial de procedimientos

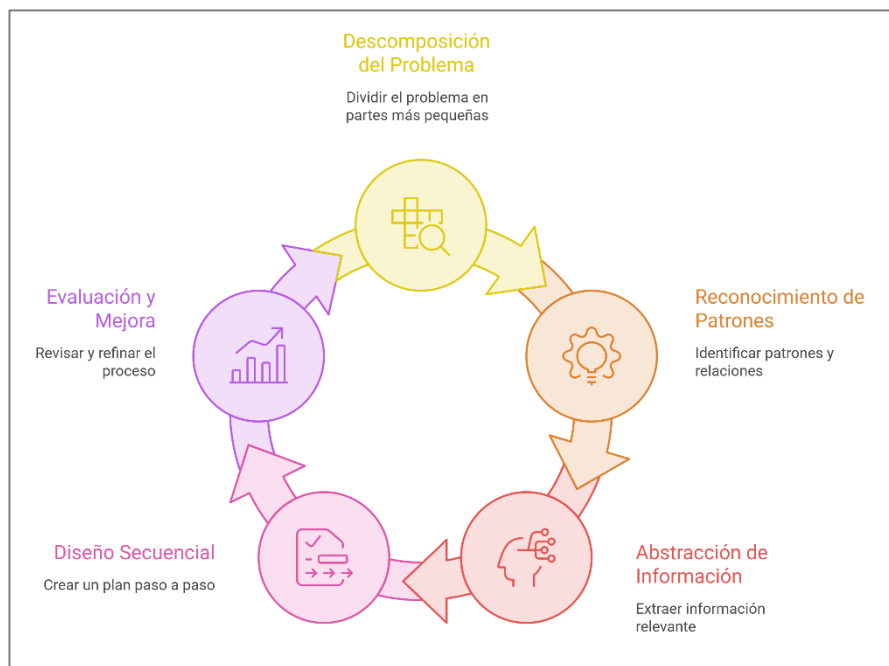
Diseñar un procedimiento secuencial exige que el estudiante determine no solamente qué pasos son necesarios para resolver un problema, sino también el orden preciso en que dichos pasos deben ejecutarse para alcanzar el resultado esperado de manera confiable. La Figura 11 representa la secuencia del pensamiento computacional aplicado a procedimientos científicos, integrando en un único esquema la descomposición, el reconocimiento de patrones y la abstracción examinados en las subsecciones anteriores, dentro de un procedimiento ordenado y completo.

Obando-Montoya et al. (2024) documentan que la programación de algoritmos secuenciales, cuando se integra explícitamente con la resolución de problemas matemáticos, mejora significativamente las habilidades de estudiantes de secundaria para estructurar soluciones ordenadas y verificables ante desafíos matemáticos complejos. Esta habilidad de diseño secuencial resulta transferible mucho más allá del contexto específico de la programación, resultando igualmente valiosa para planificar un procedimiento experimental completo, examinado en la subsección 2.1.5 del Capítulo 2 de esta obra, o para organizar cualquier proyecto extenso que requiera una secuencia ordenada de acciones.

Pedir al estudiante que elabore un diagrama de flujo sencillo antes de comenzar cualquier proyecto extenso, ya sea de programación, de laboratorio o de diseño de ingeniería, instala esta práctica de planificación secuencial como un hábito transversal aplicable a la totalidad de las actividades científicas y técnicas que desarrollará a lo largo de su formación en bachillerato.

Figura 11

Secuencia del pensamiento computacional aplicado a procedimientos científicos



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

3.5.5. Evaluación y mejora de algoritmos

Evaluar críticamente un algoritmo ya construido, identificando ineficiencias o errores que una primera versión pudo pasar por alto, cierra el ciclo del pensamiento computacional con una disposición hacia la mejora continua que resulta valiosa mucho más allá del contexto específico de la programación. Esta disposición evaluativa conecta directamente con la revisión de modelos frente a nuevas condiciones examinada en la subsección 1.5.5 del primer capítulo de esta obra, confirmando nuevamente que los principios examinados a lo

largo de este libro se refuerzan mutuamente entre disciplinas y capítulos aparentemente distantes entre sí.

Fomentar que los estudiantes intercambien sus algoritmos entre equipos, buscando activamente posibles mejoras en el trabajo de sus compañeros antes de discutir dichas sugerencias en conjunto, convierte esta evaluación en un ejercicio colaborativo que enriquece considerablemente el aprendizaje individual de cada participante involucrado. Reservar sistemáticamente un espacio de cierre al final de cada proyecto que involucre algoritmos, donde el propio estudiante documente por escrito qué mejoraría si tuviera que rehacer el trabajo desde el inicio, cultiva una disposición reflexiva hacia el propio proceso de aprendizaje que trasciende ampliamente el contenido específico de la actividad particular realizada.

Obando-Montoya et al. (2024) documentan que esta disposición hacia la evaluación y mejora continua, cuando se cultiva sistemáticamente a través de la programación de algoritmos, se transfiere efectivamente hacia una actitud más reflexiva y persistente frente a la resolución de problemas matemáticos en general, confirmando el valor formativo transversal de esta competencia examinada a lo largo de toda esta sección final del capítulo. Este capítulo ha desarrollado la visualización dinámica, la simulación computacional, los sensores, la programación y el pensamiento computacional como herramientas digitales que enriquecen la exploración científica escolar. El Capítulo 4 de esta obra avanza hacia las matemáticas y la física aplicadas al diseño de ingeniería, donde estas competencias digitales convergen con el proceso de creación de soluciones técnicas concretas.

Este tercer capítulo ha desarrollado cinco herramientas digitales que amplían las posibilidades de la exploración científica escolar: la visualización dinámica, la simulación computacional, los sensores, la programación y el pensamiento computacional que

subyace a todas ellas. A lo largo de este recorrido se ha subrayado de manera consistente que estas herramientas digitales complementan, y nunca sustituyen, la experiencia directa y la manipulación física examinadas en el Capítulo 2 de esta obra, principio que orienta una integración genuinamente STEAM de la tecnología dentro de la enseñanza de Matemáticas y Física.

El profesorado que consulte estas páginas encontrará un repertorio amplio de estrategias digitales, cada una acompañada de sugerencias concretas para su implementación responsable en el aula de bachillerato, reconociendo que la disponibilidad de recursos tecnológicos varía considerablemente entre instituciones y que muchas de estas herramientas pueden adaptarse a contextos con recursos limitados. Antes de avanzar hacia el Capítulo 4, conviene retener una idea que atraviesa todo este capítulo: que el valor formativo de cualquier herramienta digital depende siempre de la intención pedagógica con que se incorpora al aula, y nunca de su sola sofisticación tecnológica, principio que el docente debe mantener presente al seleccionar cuáles de estas estrategias resultan pertinentes para su propio contexto institucional.

Este principio libera, además, a las instituciones con acceso tecnológico limitado de la falsa creencia de que una enseñanza científica digitalmente enriquecida exige necesariamente equipamiento costoso, puesto que numerosas de las estrategias examinadas en este capítulo, desde la geometría dinámica hasta la programación textual básica, resultan viables incluso con un único dispositivo compartido entre varios estudiantes.



CAPÍTULO 4

Matemáticas y Física Aplicadas al Diseño de Ingeniería

Capítulo 4. Matemáticas y Física Aplicadas al Diseño de Ingeniería

Los tres capítulos anteriores de esta obra desarrollaron los fundamentos conceptuales, el ciclo de la investigación experimental y las herramientas digitales que enriquecen la exploración científica escolar. Este cuarto capítulo traduce ese acumulado hacia el terreno del diseño de ingeniería, donde el joven de bachillerato deja de limitarse a comprender fenómenos ya existentes para pasar a crear soluciones técnicas propias, ante necesidades concretas de su entorno inmediato o de contextos más amplios que le resulten significativos. El propósito de estas páginas es mostrar al profesorado cómo acompañar a sus estudiantes en un proceso de diseño riguroso, que combine la creatividad propia del enfoque STEAM con el rigor matemático y físico cultivado en los capítulos precedentes. Atman et al. (2007) documentan que los diseñadores expertos dedican una proporción considerablemente mayor de su tiempo a comprender y delimitar el problema antes de proponer soluciones, a diferencia de los estudiantes novatos, quienes tienden a saltar prematuramente hacia una primera idea sin explorar suficientemente el espacio del problema ni sus restricciones reales.

El capítulo se organiza en cinco secciones. La primera examina el tránsito del problema científico al desafío de diseño. La segunda desarrolla la geometría, el cálculo y la optimización involucrados en dicho diseño. La tercera aborda los principios físicos que permiten construir soluciones funcionales. La cuarta recorre el prototipado y la comprobación del funcionamiento, y la quinta cierra el capítulo con la ingeniería orientada a desafíos genuinos del entorno del estudiante. La tesis que atraviesa este capítulo sostiene que el diseño de ingeniería escolar alcanza su mayor valor formativo cuando se aborda como un proceso iterativo y no lineal, donde el estudiante regresa constantemente sobre decisiones previas a la luz de nueva información, en lugar de avanzar de manera mecánica por una

secuencia fija de pasos que simula el rigor técnico sin cultivar genuinamente el pensamiento de diseño que la ingeniería profesional efectivamente requiere.

4.1. Del problema científico al desafío de diseño

Transformar un problema científico en un desafío de diseño exige que el estudiante traduzca una comprensión conceptual, cultivada a lo largo de los capítulos anteriores de esta obra, hacia una propuesta concreta que responda a una necesidad específica identificada en su contexto. Bautista Díaz et al. (2020) documentan que los currículos escolares orientados explícitamente hacia la ingeniería fortalecen significativamente las actitudes de los jóvenes de secundaria hacia estas disciplinas, favoreciendo además su vocación futura hacia carreras técnicas y científicas que de otro modo permanecerían fuera de su horizonte de posibilidades consideradas. Cinco componentes de este tránsito se examinan a continuación: la identificación de necesidades del contexto, la definición de requisitos y restricciones, la generación de alternativas viables, la selección fundamentada de propuestas y la planificación del proceso de construcción que dará vida material a la solución finalmente elegida por el equipo de trabajo.

4.1.1. Identificación de necesidades del contexto

Identificar necesidades genuinas del contexto constituye el punto de arranque de cualquier proceso de diseño auténtico, exigiendo que el estudiante observe con atención su entorno inmediato, ya sea su institución educativa, su barrio o su comunidad más amplia, antes de proponer soluciones que podrían resultar irrelevantes si no responden a una carencia real reconocida por quienes la padecen cotidianamente. Esta observación inicial retoma directamente la observación sistemática de situaciones físicas examinada en la

subsección 2.1.1 del Capítulo 2 de esta obra, aplicada ahora no a un fenómeno natural, sino a una situación humana o social que admite una intervención técnica pertinente.

Entrevistar a personas directamente afectadas por la necesidad identificada, en lugar de asumir dicha necesidad exclusivamente desde la perspectiva del propio estudiante, enriquece considerablemente la comprensión del problema y evita diseños bienintencionados pero desconectados de la experiencia real de quienes eventualmente utilizarían la solución propuesta. Esta práctica de escucha activa, aunque exige tiempo adicional al inicio del proyecto, suele traducirse en soluciones considerablemente más pertinentes y mejor recibidas por la comunidad destinataria, evitando el error frecuente de diseñar para un usuario imaginado en lugar de uno real.

Documentar por escrito esta necesidad identificada, junto con evidencia que respalde su relevancia, tales como observaciones directas, testimonios o datos cuantitativos recogidos mediante las herramientas examinadas en el Capítulo 2, sienta las bases argumentativas sobre las cuales se justificará posteriormente cada decisión de diseño adoptada por el equipo, evitando que dichas decisiones se tomen de manera arbitraria o exclusivamente intuitiva a lo largo del proyecto completo.

Este trabajo de identificación resulta particularmente valioso cuando se orienta hacia necesidades genuinamente locales, cercanas a la experiencia cotidiana del propio estudiante, en lugar de replicar sin cuestionamiento problemáticas ajenas tomadas directamente de ejemplos internacionales que, aunque interesantes como referencia, podrían no reflejar con precisión las condiciones particulares del contexto específico donde el equipo desarrollará finalmente su proyecto de diseño. Reconocer esta pertinencia local no implica descartar inspiración proveniente de experiencias externas, sino adaptarlas críticamente a las circunstancias reales que el estudiante

observa directamente en su propio entorno inmediato de convivencia cotidiana.

Atman et al. (2007) documentan precisamente que los diseñadores expertos invierten considerablemente más tiempo que los novatos en esta etapa de comprensión del problema antes de avanzar hacia soluciones concretas, hallazgo que respalda la conveniencia de que el docente resista la tentación de apresurar esta fase inicial, por más ansioso que el estudiante se muestre por comenzar cuanto antes la construcción física de su propuesta.

4.1.2. Definición de requisitos y restricciones

Definir con precisión los requisitos que una solución debe cumplir, y las restricciones dentro de las cuales dicha solución debe operar, traduce la necesidad identificada en criterios concretos y verificables que orientarán todo el proceso de diseño posterior, evitando que el equipo avance sin un marco de referencia claro sobre qué constituye efectivamente una solución exitosa para el problema específico que se ha propuesto abordar a lo largo del proyecto completo. Los requisitos, entendidos como aquello que la solución debe lograr, se distinguen de las restricciones, entendidas como los límites impuestos por el tiempo, el presupuesto, los materiales disponibles o las condiciones del entorno donde la solución habrá de funcionar efectivamente; confundir ambas categorías conduce con frecuencia a propuestas técnicamente interesantes pero inviables dentro de las condiciones reales del proyecto escolar concreto que el equipo enfrenta.

Elaborar una lista explícita y jerarquizada de requisitos y restricciones, distinguiendo aquellos negociables de los que resultan absolutamente indispensables, ayuda al equipo a tomar decisiones más informadas en etapas posteriores del diseño, particularmente cuando surgen tensiones entre distintos requisitos que no pueden

satisfacerse simultáneamente sin comprometer alguno de ellos, situación que ocurre con notable frecuencia en cualquier proyecto de diseño genuino y no simplificado artificialmente. Revisar esta lista periódicamente a lo largo del proyecto, y no únicamente durante la etapa inicial de planificación, permite al equipo incorporar información nueva que surge conforme avanza la construcción, tales como restricciones de materiales que no resultaron evidentes al comienzo o requisitos adicionales que la propia comunidad destinataria expresa una vez que observa avances concretos del prototipo en desarrollo. Esta revisión periódica evita que la definición inicial de requisitos y restricciones se convierta en un documento rígido y desconectado de la realidad cambiante del proyecto, sino que permanezca como una herramienta viva que efectivamente orienta las decisiones del equipo hasta la culminación completa del trabajo.

4.1.3. Generación de alternativas viables

Generar múltiples alternativas antes de comprometerse con una única propuesta constituye una práctica que distingue al diseño riguroso de la simple ejecución de la primera idea que surge en la mente del estudiante, ampliando el espacio de soluciones consideradas y aumentando así la probabilidad de identificar una propuesta genuinamente superior a la que habría surgido de un proceso apresurado y poco explorado por el equipo de trabajo involucrado. La Figura 12 representa la generación y selección progresiva de alternativas de diseño, ilustrando cómo un abanico inicial amplio de posibles soluciones se reduce gradualmente, mediante criterios explícitos, hasta llegar a la propuesta finalmente seleccionada para su desarrollo y construcción posterior dentro del cronograma disponible para el proyecto completo del equipo.

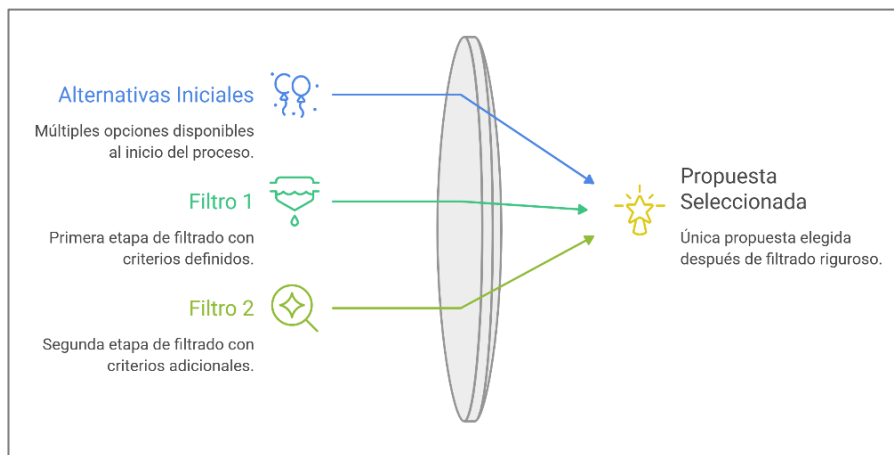
Establecer un límite mínimo de alternativas que cada equipo debe generar antes de proceder hacia la selección, tal como tres o cuatro propuestas claramente distintas entre sí, evita la tentación de

declarar prematuramente terminada esta etapa exploratoria; con frecuencia las mejores ideas surgen precisamente después de las primeras propuestas obvias, cuando el equipo se ve obligado a pensar de manera más creativa y divergente para cumplir con dicho requisito mínimo establecido.

Técnicas sencillas de generación grupal de ideas, tales como pedir a cada integrante que proponga individualmente una alternativa antes de compartirla con el resto del equipo, evitan que una sola persona domine la conversación desde el inicio y que las voces más tímidas del grupo queden sistemáticamente silenciadas durante esta etapa exploratoria particularmente sensible a las dinámicas de poder informal que suelen establecerse dentro de cualquier equipo de trabajo escolar compuesto por distintos estudiantes con personalidades diversas y niveles de confianza desigual.

Figura 12

Generación y selección progresiva de alternativas de diseño



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

4.1.4. Selección fundamentada de propuestas

Seleccionar entre las alternativas generadas exige criterios explícitos y compartidos por todo el equipo, evitando que dicha selección responda únicamente a la preferencia personal del integrante con mayor influencia dentro del grupo, o a la propuesta que simplemente resulta más sencilla de ejecutar sin considerar seriamente su idoneidad real frente a los requisitos y restricciones previamente definidos por el propio equipo de trabajo. Construir una matriz sencilla donde cada alternativa se evalúe frente a los requisitos definidos en la subsección 4.1.2, asignando una valoración cualitativa u ordinal a cada combinación, ofrece un mecanismo transparente que estructura la discusión grupal y reduce la influencia de sesgos personales o dinámicas de poder informal que de otro modo podrían determinar la decisión final sin una justificación técnica suficientemente sólida y compartida por el conjunto.

Documentar por escrito las razones que fundamentan la selección finalmente adoptada, incluyendo por qué se descartaron las alternativas restantes, prepara además al estudiante para la comunicación rigurosa de decisiones técnicas que resultará indispensable en la presentación final del proyecto, y constituye una práctica que refleja fielmente el quehacer profesional de la ingeniería, donde toda decisión de diseño debe poder justificarse ante colegas, clientes o autoridades reguladoras. Esta selección fundamentada no siempre coincide con la alternativa que inicialmente parecía más atractiva o novedosa dentro del grupo, y aceptar este resultado, cuando la matriz de evaluación señala con claridad una propuesta distinta, exige del estudiante una disposición madura a subordinar preferencias personales a criterios técnicos objetivos, disposición que constituye en sí misma un aprendizaje formativo valioso sobre la naturaleza del trabajo colaborativo en ingeniería, donde las decisiones exitosas rara vez dependen netamente del gusto individual de quien las propone.

4.1.5. Planificación del proceso de construcción

Planificar el proceso de construcción traduce la propuesta seleccionada en una secuencia concreta de tareas, materiales, herramientas y responsabilidades que el equipo deberá ejecutar dentro del tiempo disponible, retomando la lógica de planificación experimental examinada anteriormente en esta obra, ahora aplicada a la construcción física de una solución de ingeniería y no a un procedimiento puramente experimental de indagación científica. Esta planificación debe contemplar hitos intermedios claramente definidos, que permitan al docente y al propio equipo verificar el avance del proyecto antes de llegar a la fecha límite final, evitando que la construcción completa se posponga hasta las últimas sesiones disponibles, práctica que compromete seriamente la calidad del resultado final y genera niveles de estrés considerablemente innecesarios entre los estudiantes involucrados en el proyecto.

Asignar responsabilidades específicas a cada integrante del equipo dentro de esta planificación, evitando que las tareas se distribuyan de manera improvisada el mismo día de la construcción, fortalece el sentido de compromiso individual con el resultado colectivo y facilita que el docente identifique con precisión quién es responsable de cada aspecto del proyecto cuando surgen dudas o retrasos durante el desarrollo, información que resulta considerablemente más difícil de obtener cuando las responsabilidades permanecen difusas entre todos los integrantes del grupo de trabajo desde el comienzo mismo del proyecto completo. Esta sección ha desarrollado el tránsito completo desde la identificación de una necesidad hasta la planificación de su construcción material. La sección siguiente examina las herramientas de geometría, cálculo y optimización que permiten a los estudiantes dimensionar y perfeccionar matemáticamente la solución que han decidido desarrollar a lo largo de las sesiones siguientes del proyecto.

4.2. Geometría, cálculo y optimización en el diseño

La geometría y el cálculo proporcionan al diseño de ingeniería el lenguaje formal que permite dimensionar con precisión cada componente de una solución, retomando directamente las herramientas matemáticas examinadas en el Capítulo 1 de esta obra y aplicándolas ahora a un contexto donde las decisiones cuantitativas tienen consecuencias materiales directas y verificables sobre el funcionamiento efectivo del prototipo construido por el equipo de trabajo.

Cinco componentes de esta aplicación geométrica y matemática se examinan a continuación: las dimensiones y relaciones espaciales involucradas, las escalas y la proporcionalidad en representaciones técnicas, el cálculo de áreas, volúmenes y cantidades necesarias, la estimación de recursos requeridos y la optimización de los parámetros que definen la solución de diseño finalmente construida por cada equipo participante.

4.2.1. Dimensiones y relaciones espaciales

Determinar las dimensiones apropiadas de una solución de diseño exige que el estudiante comprenda las relaciones espaciales entre sus distintos componentes, anticipando cómo el tamaño de una pieza condiciona el de las piezas adyacentes con las que deberá ensamblarse o interactuar funcionalmente dentro del conjunto completo de la solución técnica que el equipo se propone construir a lo largo del proyecto. Esta comprensión espacial retoma directamente las competencias de visualización geométrica desarrolladas mediante la geometría dinámica examinada en la subsección 3.1.3 del capítulo anterior, permitiendo que el estudiante manipule digitalmente las dimensiones propuestas antes de comprometer materiales físicos que, una vez cortados o ensamblados incorrectamente, resultan

considerablemente más costosos de corregir que un simple ajuste realizado sobre una representación digital preliminar del diseño.

Elaborar un boceto acotado, con las dimensiones principales claramente indicadas, antes de proceder hacia cualquier construcción física, obliga al estudiante a tomar decisiones dimensionales explícitas y justificadas, en lugar de improvisar tamaños sobre la marcha, práctica que con frecuencia conduce a piezas que no encajan entre sí o que resultan desproporcionadas respecto del conjunto completo de la solución finalmente ensamblada por el equipo de trabajo. Comparar las dimensiones propuestas con objetos de referencia familiares para el estudiante, tales como el tamaño de una hoja de cuaderno o la altura de una silla escolar, ayuda a desarrollar un sentido intuitivo de magnitud que complementa el cálculo formal y previene errores dimensionales groseros que a veces pasan desapercibidos cuando el estudiante trabaja exclusivamente con números abstractos sobre el papel, sin vincularlos conscientemente a referencias físicas concretas y familiares de su experiencia cotidiana dentro y fuera del aula escolar.

4.2.2. Escalas y proporcionalidad en representaciones técnicas

Representar una solución de diseño mediante una escala determinada exige que el estudiante mantenga la proporcionalidad entre todas las dimensiones representadas, retomando directamente las competencias de proporcionalidad examinadas en la subsección 1.3.2 del primer capítulo de esta obra, ahora aplicadas al contexto específico del dibujo técnico y la representación gráfica de soluciones de ingeniería que el equipo pretende eventualmente construir a escala real. La Tabla 15 sistematiza aplicaciones habituales de escalas y proporcionalidad en representaciones técnicas escolares, distinguiendo situaciones donde conviene representar una solución a escala reducida, tales como una maqueta de una estructura de gran tamaño, de situaciones donde conviene una escala ampliada, tales como el diseño de un mecanismo con componentes particularmente

pequeños que requieren mayor detalle visual para su correcta interpretación.

Practicar la conversión entre distintas escalas mediante ejercicios breves antes de abordar el proyecto completo de diseño, permite al estudiante consolidar esta competencia técnica sin la presión adicional que supone cometer un error de escala en un componente ya avanzado del proyecto principal, error que con frecuencia obliga a rehacer buena parte del trabajo realizado hasta ese momento por el equipo completo de estudiantes involucrados en la construcción de la solución propuesta. Etiquetar siempre la escala empleada directamente sobre cada representación técnica producida por el estudiante, en lugar de confiar en que dicha información se recuerde de memoria durante la etapa posterior de construcción, evita confusiones particularmente costosas cuando varios miembros del equipo consultan el mismo boceto en momentos distintos del proceso, práctica sencilla que sin embargo previene errores de interpretación considerablemente frecuentes entre estudiantes que recién comienzan a familiarizarse con las convenciones del dibujo técnico escolar aplicado a proyectos de ingeniería.

Tabla 15

Aplicaciones de escalas y proporcionalidad en representaciones técnicas

Situación de diseño	Tipo de escala recomendada	Consideración principal
Maqueta de una estructura grande	Escala reducida	Mantener proporciones exactas entre todos los componentes
Mecanismo con piezas pequeñas	Escala ampliada	Preservar el detalle necesario para la interpretación
Plano de construcción a tamaño real	Escala 1:1	Verificar coincidencia exacta con las dimensiones finales

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

4.2.3. Cálculo de áreas, volúmenes y cantidades

Calcular áreas y volúmenes con precisión resulta indispensable para estimar correctamente la cantidad de material que una solución de diseño requerirá, evitando tanto la escasez que interrumpe la construcción a mitad de proceso como el exceso que desperdicia recursos institucionales frecuentemente limitados en contextos educativos de bachillerato con presupuestos ajustados para este tipo de proyectos técnicos desarrollados en el aula. Estos cálculos retoman directamente las herramientas geométricas desarrolladas en la formación matemática regular del estudiante, exigiendo ahora su aplicación a formas frecuentemente irregulares o compuestas, que combinan varias figuras geométricas simples, situación que demanda descomponer la forma completa en partes calculables por separado antes de sumar los resultados parciales obtenidos para cada una de dichas partes componentes.

Verificar estos cálculos mediante un método alternativo, tal como estimar el volumen por desplazamiento de agua para una pieza de forma irregular y comparar dicho resultado con el cálculo geométrico teórico previo, fortalece la confianza del estudiante en sus propios procedimientos y ejemplifica, en un contexto aplicado, la práctica de verificación cruzada examinada en la subsección 3.4.5 del capítulo anterior de esta obra. Redondear las cantidades calculadas hacia arriba, incorporando un margen razonable de material adicional para compensar errores de corte o desperdicio inevitable durante la construcción, constituye una práctica prudente que numerosos estudiantes principiantes omiten por exceso de confianza en la precisión de sus cálculos teóricos, exponiéndose innecesariamente al riesgo de quedarse sin material suficiente precisamente en las etapas finales y más críticas de la construcción del proyecto completo desarrollado por el equipo de trabajo escolar.

4.2.4. Estimación de recursos necesarios

Estimar los recursos necesarios para un proyecto de diseño trasciende el cálculo de materiales examinado en la subsección anterior, incorporando además una estimación razonable del tiempo requerido para cada etapa de construcción y de las herramientas específicas que el equipo deberá tener disponibles antes de iniciar cada fase del proceso completo de elaboración de la solución propuesta. Esta estimación temprana permite identificar oportunamente restricciones que podrían comprometer la viabilidad del proyecto, tales como la falta de acceso a una herramienta específica o un plazo de entrega insuficiente para la complejidad de la solución propuesta, información que resulta considerablemente más valiosa cuando se obtiene al inicio del proyecto que cuando se descubre a mitad de la construcción ya avanzada por el equipo.

Comparar la estimación inicial de recursos con el consumo real registrado al finalizar el proyecto, y discutir en conjunto las discrepancias encontradas entre ambas cifras, desarrolla progresivamente en el estudiante una competencia de planificación cada vez más precisa y realista, competencia que trasciende ampliamente el contexto escolar específico y que resulta transferible hacia prácticamente cualquier proyecto técnico o profesional que enfrentará en etapas posteriores de su formación. Mantener un registro histórico institucional de las estimaciones y los consumos reales de proyectos anteriores, disponible como referencia para futuros equipos que emprendan desafíos similares, permite que la experiencia acumulada de una generación de estudiantes beneficie efectivamente a las siguientes, evitando que cada nuevo grupo deba aprender por sí mismo, mediante ensayo y error, lecciones de planificación que ya fueron aprendidas previamente por otros compañeros que enfrentaron desafíos comparables en años escolares anteriores dentro de la misma institución educativa.

4.2.5. Optimización de parámetros de diseño

Optimizar los parámetros de una solución de diseño implica ajustar sus dimensiones, proporciones o configuración para maximizar su desempeño respecto de algún criterio relevante, tal como la resistencia estructural, el peso mínimo o el costo reducido, dentro de las restricciones ya definidas en la subsección 4.1.2 de este capítulo para el proyecto completo del equipo de trabajo. Esta optimización rara vez admite una solución única y evidente, exigiendo que el estudiante explore sistemáticamente distintas combinaciones de parámetros, registrando los resultados obtenidos para cada configuración probada, práctica que retoma directamente la manipulación de parámetros examinada en la subsección 3.2.2 del capítulo anterior, ahora aplicada a un objeto físico y no a un escenario puramente simulado digitalmente por el estudiante.

Reconocer explícitamente que la optimización siempre implica compromisos entre criterios que compiten entre sí, tales como maximizar la resistencia mientras se minimiza el peso, ayuda al estudiante a comprender que rara vez existe una solución perfecta que satisfaga simultáneamente todos los criterios deseables al máximo nivel posible, y que el verdadero trabajo de optimización consiste en encontrar el equilibrio más favorable posible entre dichos criterios en competencia, dentro de las restricciones específicas que enmarcan el proyecto particular desarrollado por cada equipo escolar. Esta sección ha desarrollado las herramientas geométricas, de cálculo y de optimización que permiten dimensionar con rigor una solución de ingeniería escolar. La sección siguiente examina los principios físicos que garantizan que dicha solución, además de estar correctamente dimensionada, funcione efectivamente conforme a los principios mecánicos y energéticos que gobiernan su comportamiento real.

4.3. Principios físicos para construir soluciones funcionales

Los principios físicos determinan si una solución correctamente dimensionada efectivamente funciona conforme a lo previsto, retomando directamente los contenidos de mecánica, energía y materiales examinados en capítulos anteriores de esta obra y aplicándolos ahora a la construcción de soluciones que deben resistir cargas reales, transmitir movimiento de manera confiable o aprovechar fuentes de energía disponibles en el entorno inmediato del proyecto escolar. Cinco componentes de estos principios físicos se examinan en esta sección: la estabilidad y el equilibrio de estructuras, las fuerzas y la resistencia mecánica involucradas, el movimiento y funcionamiento de mecanismos diversos, la transferencia y el aprovechamiento de energía, y las propiedades físicas que orientan la selección apropiada de materiales para cada componente de la solución diseñada.

4.3.1. Estabilidad y equilibrio de estructuras

Una estructura estable permanece en equilibrio frente a las cargas que debe soportar durante su funcionamiento normal, condición que exige del estudiante comprender cómo se distribuyen dichas cargas a través de los distintos componentes estructurales y cómo dicha distribución determina, en última instancia, si la estructura completa colapsa o se mantiene firme ante las solicitaciones a las que se somete durante su uso previsto. La Tabla 16 sistematiza las condiciones físicas relacionadas con la estabilidad y el equilibrio estructural, distinguiendo la importancia de una base amplia, la posición del centro de gravedad respecto de dicha base, y la triangulación de elementos como estrategia recurrente para incrementar la rigidez de una estructura sin necesariamente aumentar de manera proporcional la cantidad de material empleado en su construcción completa.

Experimentar directamente con maquetas simples, sometiéndolas a cargas progresivamente mayores hasta observar su punto de falla, permite al estudiante desarrollar una intuición física sobre estos principios que ninguna explicación puramente teórica lograría transmitir con la misma claridad, aproximación experimental que retoma coherentemente el espíritu investigativo cultivado a lo largo del Capítulo 2 de esta obra dedicado íntegramente a dicha exploración experimental. Comparar estructuras construidas con la misma cantidad de material pero configuraciones geométricas distintas, evaluando cuál soporta mayor carga antes de fallar, permite al estudiante descubrir empíricamente que la eficiencia estructural depende tanto de la cantidad de material empleado como de su disposición geométrica específica, hallazgo que suele sorprender genuinamente a quienes asumían inicialmente que una estructura más pesada resulta automáticamente más resistente que una configuración más liviana pero geoméricamente más inteligente y mejor pensada por el equipo de trabajo escolar.

Tabla 16

Condiciones físicas relacionadas con la estabilidad y el equilibrio estructural

Condición	Efecto sobre la estabilidad	Estrategia de diseño asociada
Base amplia	Aumenta la resistencia al volcamiento	Ampliar la superficie de apoyo de la estructura
Centro de gravedad bajo	Reduce el riesgo de vuelco	Ubicar los componentes más pesados en la parte inferior
Triangulación de elementos	Incrementa la rigidez estructural	Incorporar diagonales entre los elementos verticales

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

4.3.2. Fuerzas y resistencia mecánica

La resistencia mecánica de un componente determina la magnitud de fuerza que dicho componente puede soportar antes de deformarse permanentemente o fracturarse por completo, propiedad que depende tanto del material empleado en su fabricación como de la geometría específica que dicho componente adopta dentro del conjunto completo de la solución de ingeniería finalmente construida por el equipo de trabajo escolar. Comprender esta resistencia exige retomar las relaciones entre fuerzas examinadas en la subsección 2.4.2 del Capítulo 2 de esta obra, ahora aplicadas a la pregunta específica de cuánta fuerza puede soportar una pieza determinada antes de fallar, pregunta que el estudiante puede explorar empíricamente mediante pruebas de carga progresiva realizadas sobre distintos prototipos de la misma pieza construidos con materiales o geometrías ligeramente diferentes entre sí.

Documentar sistemáticamente en qué punto de la carga aplicada ocurre la falla de cada prototipo probado, y comparar dichos resultados entre distintas configuraciones ensayadas por el equipo, transforma esta exploración de resistencia mecánica en una investigación experimental genuina que aplica directamente las herramientas de registro y análisis de datos desarrolladas extensamente a lo largo del Capítulo 2 de esta obra completa. Incorporar un margen de seguridad razonable al diseñar componentes que soportarán cargas reales, dimensionándolos para resistir una fuerza considerablemente mayor a la esperada durante el uso normal previsto, refleja una práctica estándar de la ingeniería profesional que el estudiante debe aprender tempranamente, reconociendo que las condiciones reales de uso rara vez coinciden exactamente con las condiciones ideales calculadas durante la etapa de diseño teórico previo al proceso completo de construcción física del prototipo desarrollado por el equipo escolar.

4.3.3. Movimiento y funcionamiento de mecanismos

Los mecanismos, entendidos como conjuntos de piezas que transmiten y transforman movimiento entre sí, tales como engranajes, palancas o poleas, exigen que el estudiante comprenda las relaciones cuantitativas entre las magnitudes involucradas, tales como la velocidad de rotación o la fuerza transmitida, retomando directamente las relaciones entre ecuaciones y comportamiento físico examinadas anteriormente. Bravo Sánchez y Forero Guzmán (2012) documentan que la construcción práctica de mecanismos sencillos, más allá de su sola descripción teórica, fortalece de manera significativa el desarrollo de competencias generales entre los estudiantes que participan de dicha construcción, favoreciendo simultáneamente su comprensión conceptual de los principios físicos involucrados y sus habilidades manuales de ensamblaje técnico.

Construir un mecanismo sencillo, tal como un sistema de engranajes que modifique la velocidad de rotación entre un eje motor y un eje conducido, y medir experimentalmente dicha relación de velocidades para contrastarla con la predicción teórica calculada previamente, integra de manera particularmente elocuente el cálculo matemático con la comprobación física directa que constituye, en definitiva, el núcleo formativo central de este capítulo dedicado al diseño de ingeniería aplicado. Desarmar mecanismos simples ya existentes, tales como un reloj mecánico en desuso o un juguete con engranajes que la institución pueda donar para este propósito educativo, antes de construir uno propio desde cero, ofrece al estudiante una comprensión práctica valiosa sobre cómo se ensamblan efectivamente los componentes reales, complementando la comprensión puramente teórica que un diagrama esquemático, por claro que resulte, difícilmente logra transmitir con la misma riqueza sensorial y manual que aporta la manipulación directa de piezas físicas genuinas.

4.3.4. Transferencia y aprovechamiento de energía

Toda solución de ingeniería que involucre movimiento o funcionamiento activo exige considerar cómo se transfiere y aprovecha la energía disponible, retomando directamente las transformaciones energéticas examinadas en la subsección 2.4.3 del Capítulo 2 de esta obra, ahora aplicadas al diseño de un dispositivo que debe funcionar de manera eficiente dentro de las limitaciones energéticas propias de un proyecto escolar de bachillerato con recursos generalmente restringidos. Esta consideración energética exige que el estudiante identifique explícitamente la fuente de energía disponible para su solución, ya sea una pila, la energía solar captada mediante un panel fotovoltaico sencillo, o la energía mecánica aportada directamente por el propio usuario, y que dimensione el resto del diseño de manera coherente con la cantidad de energía efectivamente disponible desde dicha fuente seleccionada.

Medir experimentalmente la eficiencia energética de un prototipo construido, comparando la energía suministrada con el trabajo útil efectivamente realizado por el dispositivo, introduce al estudiante en consideraciones de eficiencia que resultan centrales en la ingeniería contemporánea, particularmente relevantes ante los desafíos de sostenibilidad energética que se examinan con mayor profundidad en la sección final de este capítulo dedicado a la ingeniería orientada al entorno. Discutir por qué ningún dispositivo real logra una eficiencia perfecta del cien por ciento, identificando junto al estudiante las pérdidas habituales por fricción, calor disipado o resistencia eléctrica, fortalece una comprensión realista de las limitaciones físicas inherentes a cualquier sistema construido, evitando expectativas idealizadas que después generarían frustración innecesaria cuando el prototipo propio del estudiante, inevitablemente, exhiba también estas mismas pérdidas energéticas comunes a todo dispositivo físico real construido con materiales y técnicas escolares disponibles.

4.3.5. Propiedades físicas para la selección de materiales

Seleccionar el material apropiado para cada componente de una solución de diseño exige comparar sistemáticamente propiedades físicas relevantes, tales como la dureza, la flexibilidad, el peso y la resistencia a la corrosión, decisión que condiciona significativamente tanto el desempeño funcional de la solución completa como su durabilidad esperada a lo largo del tiempo de uso previsto para dicho dispositivo o estructura. La Tabla 17 sistematiza las propiedades físicas consideradas habitualmente en la selección de materiales para proyectos escolares de ingeniería, orientando al estudiante sobre qué característica resulta particularmente relevante según la función específica que el componente debe cumplir dentro del conjunto completo de la solución diseñada por el equipo de trabajo.

Realizar pruebas comparativas sencillas entre distintos materiales disponibles, tales como flexionar, cortar o mojar muestras equivalentes de cada uno, antes de comprometerse con un material determinado para el proyecto completo, permite al estudiante fundamentar su selección en evidencia empírica directa y no únicamente en suposiciones intuitivas sobre las propiedades de cada material que podrían resultar inexactas o insuficientemente verificadas por el equipo completo.

Considerar además la disponibilidad y el costo real de cada material en el contexto local del estudiante, y no únicamente sus propiedades físicas ideales, refleja una restricción práctica que todo ingeniero enfrenta profesionalmente, recordando que la solución técnicamente óptima en abstracto puede resultar inviable si el material que requiere simplemente no se encuentra accesible o resulta excesivamente costoso dentro del presupuesto real disponible para el proyecto escolar desarrollado por el equipo de trabajo completo. Esta sección ha desarrollado los principios físicos que garantizan el funcionamiento efectivo de una solución de ingeniería correctamente

dimensionada. La sección siguiente examina el prototipado y la comprobación experimental que verifican, en la práctica, si dichos principios se cumplen genuinamente en la solución finalmente construida por cada equipo de trabajo.

Tabla 17

Propiedades físicas consideradas en la selección de materiales

Propiedad	Qué indica	Aplicación típica en el diseño escolar
Dureza	Resistencia a ser rayado o deformado	Componentes sometidos a fricción o desgaste
Flexibilidad	Capacidad de doblarse sin romperse	Piezas que deben absorber impactos o vibraciones
Peso relativo	Masa por unidad de volumen	Estructuras donde se busca minimizar el peso total

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

4.4. Prototipado y comprobación del funcionamiento

El prototipado traduce el diseño planificado y calculado en un objeto físico concreto que puede someterse a prueba, cerrando el ciclo entre la teoría y la práctica que ha atravesado esta obra desde su primer capítulo. Li et al. (2019) documentan que el pensamiento de diseño, entendido como una disposición que combina creatividad e iteración sistemática, resulta aplicable no solo en ingeniería y tecnología, sino también en la enseñanza de matemáticas y ciencias, fortaleciendo así la coherencia interdisciplinaria propia del enfoque STEAM desarrollado a lo largo de esta obra. Cinco componentes de este proceso se examinan a continuación: la representación inicial de la propuesta, la elaboración de prototipos a escala, la definición de pruebas de funcionamiento, el análisis de fallos y restricciones detectadas, y el rediseño basado en los resultados obtenidos durante la comprobación experimental del prototipo construido por cada equipo de trabajo.

4.4.1. Representación inicial de la propuesta

Representar la propuesta seleccionada mediante bocetos, diagramas o modelos digitales antes de construir cualquier prototipo físico permite al equipo detectar problemas conceptuales tempranos, cuando corregirlos resulta considerablemente menos costoso que después de haber invertido materiales y tiempo en una construcción física ya avanzada que resultaría necesario desmontar o modificar sustancialmente para corregir el problema identificado tardíamente. Esta representación inicial retoma directamente las herramientas de visualización digital examinadas en la sección 3.1 del capítulo anterior de esta obra, permitiendo que el estudiante explore virtualmente distintas configuraciones antes de comprometerse con una versión física particular, aprovechando así la rapidez y flexibilidad que dichas herramientas digitales ofrecen frente a la construcción material tradicionalmente más lenta y costosa de modificar sustancialmente.

Compartir esta representación inicial con otros equipos o con el propio docente, solicitando retroalimentación explícita antes de avanzar hacia la construcción física, introduce una revisión externa temprana que con frecuencia identifica problemas que el equipo, inmerso en su propio proyecto, no logra percibir con la misma claridad y objetividad que aportaría una mirada externa genuinamente independiente del proceso de diseño ya recorrido. Establecer un momento formal de revisión de bocetos dentro del cronograma del proyecto, en lugar de dejar dicha retroalimentación librada a conversaciones informales y ocasionales entre estudiantes, garantiza que todos los equipos reciban efectivamente esta revisión externa temprana antes de comprometer recursos materiales significativos, práctica institucional sencilla que fortalece considerablemente la calidad promedio de los proyectos finalmente presentados por el conjunto completo de estudiantes que participan del curso escolar.

4.4.2. Elaboración de prototipos a escala

Elaborar un prototipo a escala reducida, antes de comprometerse con la construcción a tamaño completo, permite probar los principios de diseño fundamentales con una inversión considerablemente menor de materiales y tiempo, estrategia particularmente valiosa cuando el proyecto final involucra dimensiones o costos que excederían razonablemente los recursos disponibles dentro de un contexto escolar de bachillerato con presupuestos generalmente ajustados para este tipo de proyectos. Esta construcción a escala exige mantener la coherencia proporcional examinada en la subsección 4.2.2 de este capítulo, reconociendo además que ciertos fenómenos físicos no escalan de manera lineal, de modo que un prototipo pequeño exitoso no garantiza automáticamente el éxito de la versión a tamaño completo sin ajustes adicionales que consideren explícitamente estas relaciones no lineales entre escala y comportamiento físico del sistema.

Documentar fotográficamente cada etapa de la elaboración del prototipo, además de conservar el objeto físico resultante, permite al equipo reconstruir posteriormente su propio proceso de construcción durante la presentación final del proyecto, mostrando a la audiencia no solamente el resultado terminado, sino también el camino recorrido y las decisiones técnicas adoptadas a lo largo de dicho proceso completo de elaboración. Conservar los prototipos anteriores, incluso aquellos que resultaron fallidos o insatisfactorios, en lugar de descartarlos inmediatamente después de construir una versión mejorada, permite mostrar posteriormente la evolución completa del diseño durante la evaluación final, evidencia particularmente valiosa que demuestra al docente el proceso iterativo genuino que el equipo efectivamente recorrió, y no únicamente el resultado final aislado de todo el trabajo previo que condujo hasta dicho resultado.

4.4.3. Definición de pruebas de funcionamiento

Definir con precisión qué pruebas determinarán si el prototipo funciona satisfactoriamente exige traducir los requisitos establecidos en la subsección 4.1.2 de este capítulo hacia procedimientos concretos y medibles, evitando evaluaciones vagas del tipo funciona o no funciona que no aportan información suficiente sobre qué aspectos específicos de la solución requieren eventualmente ajustes adicionales antes de considerarla satisfactoriamente terminada por el equipo de trabajo. Estas pruebas deben diseñarse siguiendo la misma lógica de control de variables examinada anteriormente, modificando una condición por vez para poder atribuir con claridad los resultados observados a la causa específica que efectivamente los produjo, evitando conclusiones ambiguas que surgirían de modificar simultáneamente múltiples aspectos del prototipo durante una misma sesión de pruebas experimentales realizadas por el equipo completo.

Establecer criterios cuantitativos de éxito antes de ejecutar la prueba, tales como un peso mínimo que la estructura debe soportar o una distancia mínima que el mecanismo debe recorrer, en lugar de definir dichos criterios retrospectivamente según el resultado obtenido, mantiene la honestidad metodológica de la evaluación y evita la tentación de reinterpretar favorablemente un resultado que en realidad no cumplió las expectativas inicialmente planteadas por el equipo. Repetir cada prueba varias veces antes de sacar conclusiones definitivas, en lugar de conformarse con una única ejecución que podría no ser representativa del comportamiento habitual del prototipo, retoma la importancia de la repetición examinada en la subsección 2.2.5 del Capítulo 2 de esta obra, recordando que un solo resultado, favorable o desfavorable, puede deberse a circunstancias particulares de esa ejecución específica y no reflejar fielmente el comportamiento general y consistente del prototipo evaluado por el equipo completo.

4.4.4. Análisis de fallos y restricciones detectadas

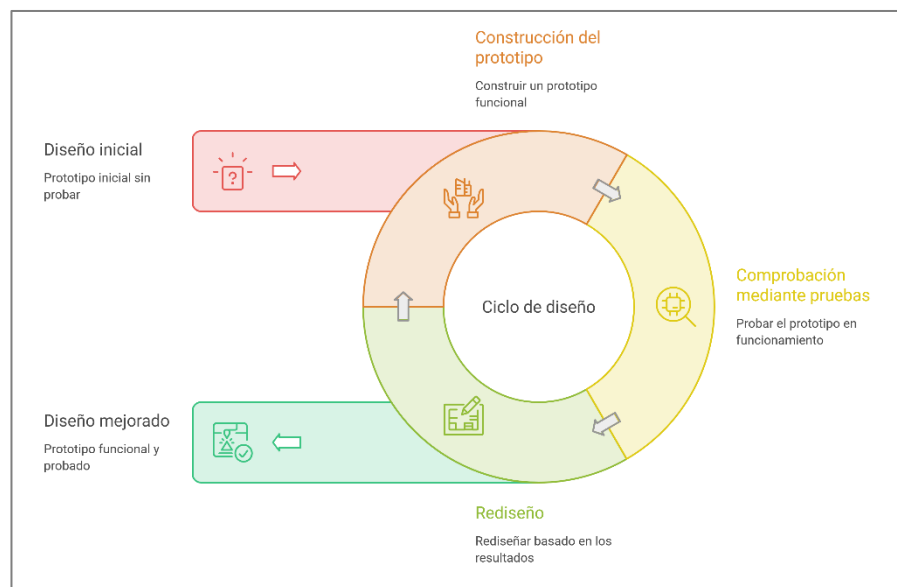
Analizar cuidadosamente cualquier fallo detectado durante las pruebas de funcionamiento, en lugar de simplemente registrar que el prototipo no cumplió con lo esperado, exige que el estudiante examine la cadena causal completa que condujo a dicho fallo, distinguiendo problemas de diseño conceptual, problemas de construcción o ejecución material, y problemas derivados de restricciones que no habían sido consideradas adecuadamente durante la planificación inicial del proyecto completo. Esta distinción resulta crucial porque cada tipo de fallo exige una respuesta correctiva diferente, mientras un problema de diseño conceptual podría requerir replantear la propuesta desde una etapa más temprana del proceso, un problema de ejecución material podría resolverse simplemente mejorando la técnica de construcción empleada por el equipo sin necesidad de modificar sustancialmente el diseño conceptual original que sustenta la propuesta completa.

Documentar sistemáticamente estos fallos en un registro compartido por todo el equipo, incluyendo hipótesis razonadas sobre su causa probable, prepara al estudiante para el rediseño examinado en la subsección siguiente, transformando lo que podría percibirse como un fracaso desalentador en información valiosa y estructurada que orienta de manera concreta las mejoras específicas que el proyecto efectivamente requiere antes de su presentación final. Reencuadrar explícitamente frente al grupo la noción de fallo, presentándolo como una fuente legítima de información técnica y no como un motivo de vergüenza o desánimo, retoma el principio ya examinado en la subsección 2.5.3 del Capítulo 2 de esta obra sobre la evaluación productiva de discrepancias, reforzando una cultura de aula donde los estudiantes se sienten seguros documentando honestamente sus fallos, en lugar de ocultarlos o minimizarlos ante el docente y sus propios compañeros de equipo.

4.4.5. Rediseño basado en resultados

Rediseñar la solución a partir de los resultados obtenidos durante las pruebas cierra el ciclo iterativo que caracteriza al diseño de ingeniería genuino, exigiendo que el estudiante regrese sobre decisiones previas para ajustarlas a la luz de la evidencia empírica recién obtenida, en lugar de conformarse con una primera versión que, aunque funcional en algún grado, todavía admite mejoras sustanciales identificables mediante el análisis cuidadoso desarrollado en la subsección anterior. La Figura 13 representa el ciclo completo de prototipado, comprobación y rediseño, ilustrando cómo este proceso no concluye necesariamente después de una única iteración, sino que puede repetirse varias veces dentro del tiempo disponible para el proyecto, cada vez incorporando los aprendizajes acumulados de las iteraciones previas realizadas por el mismo equipo de trabajo escolar.

Reservar explícitamente tiempo curricular para al menos una iteración completa de rediseño, y no únicamente para la construcción de una primera versión que se presenta directamente como resultado final, comunica al estudiante que el valor formativo de este proceso reside precisamente en la iteración, principio que cierra coherentemente este capítulo antes de examinar, en la sección final, cómo estos procesos de diseño se orientan hacia desafíos genuinos del entorno inmediato del estudiante. Comparar explícitamente la primera versión del prototipo con la versión rediseñada al final del proyecto, señalando concretamente qué cambió y por qué, permite al estudiante visualizar con claridad su propio progreso a lo largo del proceso, evidencia tangible del aprendizaje alcanzado que resulta considerablemente más significativa que una calificación numérica aislada entregada únicamente al final del proyecto sin este contraste explícito entre ambas versiones sucesivas del mismo diseño trabajado por el equipo completo.

Figura 13*Ciclo de prototipado, comprobación y rediseño*

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

4.5. Ingeniería orientada a desafíos del entorno

La ingeniería orientada a desafíos del entorno cierra este capítulo aplicando el proceso completo de diseño desarrollado en las secciones anteriores a problemas genuinos que afectan a la comunidad del estudiante, retomando la vinculación del conocimiento con problemas del entorno examinada en la subsección 1.2.5 del primer capítulo de esta obra. Fonseca y Simbaña (2022) documentan que los proyectos STEM basados en desafíos auténticos del entorno fortalecen significativamente la motivación y el compromiso de los estudiantes de secundaria hacia el aprendizaje de la física y las disciplinas técnicas relacionadas. Cinco campos de aplicación se examinan en esta sección final del capítulo: las estructuras eficientes

para necesidades concretas, los sistemas para el aprovechamiento de fuentes energéticas, los mecanismos vinculados con movilidad y transporte, los dispositivos para medir y controlar variables ambientales, y las soluciones técnicas vinculadas explícitamente con la sostenibilidad del entorno donde dichas soluciones habrán de implementarse efectivamente.

4.5.1. Estructuras eficientes para necesidades concretas

Diseñar estructuras eficientes para necesidades concretas del entorno, tales como un refugio temporal, un sistema de almacenamiento comunitario o una pasarela peatonal sencilla, exige aplicar simultáneamente los principios de estabilidad examinados en la subsección 4.3.1 de este capítulo y una comprensión clara de la necesidad social específica que dicha estructura pretende efectivamente satisfacer dentro de la comunidad involucrada. Esta aplicación combinada de rigor técnico y pertinencia social constituye, quizás, la síntesis más completa del enfoque STEAM desarrollado a lo largo de esta obra, exigiendo del estudiante moverse fluidamente entre el cálculo estructural riguroso y la sensibilidad hacia las necesidades reales de las personas que eventualmente utilizarán la estructura diseñada por el equipo de trabajo escolar.

Colaborar con actores de la comunidad, tales como vecinos, autoridades escolares locales o representantes de organizaciones comunitarias cercanas, durante el proceso de diseño de estas estructuras, enriquece considerablemente la pertinencia de la solución final, ofreciendo además al estudiante una experiencia temprana de trabajo interdisciplinario y comunitario que trasciende ampliamente los límites tradicionales del aula de bachillerato. Presentar el prototipo final ante los propios miembros de la comunidad que motivaron el proyecto, y no únicamente ante el docente evaluador, cierra de manera particularmente significativa el ciclo completo de diseño examinado en este capítulo, ofreciendo al estudiante una

retroalimentación genuina sobre la utilidad real de su propuesta y reforzando el sentido de propósito social que ha acompañado el proyecto desde la identificación inicial de la necesidad examinada en la subsección 4.1.1 de este mismo capítulo.

Bautista Díaz et al. (2020) documentan que este tipo de proyectos, orientados explícitamente hacia necesidades comunitarias reconocibles por el propio estudiante, fortalecen de manera particularmente consistente las actitudes favorables hacia la ingeniería entre jóvenes de secundaria, efecto que resulta considerablemente más pronunciado que el observado en proyectos técnicamente equivalentes pero desconectados de un propósito social identificable por quienes participan directamente en su desarrollo y construcción.

4.5.2. Sistemas para el aprovechamiento de fuentes energéticas

Diseñar sistemas que aprovechen fuentes energéticas disponibles en el entorno inmediato, tales como pequeños paneles solares, sistemas de captación eólica sencillos o dispositivos que aprovechan el movimiento del agua, retoma directamente los principios de transferencia energética examinados en la subsección 4.3.4 de este capítulo, aplicados ahora a fuentes renovables particularmente relevantes dado el contexto ambiental contemporáneo que enmarca la formación científica actual de los estudiantes. Ballesteros-Ballesteros y Gallego-Torres (2019) documentan que la educación en energías renovables, cuando se vincula explícitamente con el compromiso público y la actitud energética de los estudiantes, fortalece significativamente la comprensión conceptual y la disposición favorable hacia la adopción futura de tecnologías energéticas sostenibles en contextos personales y comunitarios más amplios que el estrictamente escolar.

Medir experimentalmente la energía efectivamente captada por un prototipo sencillo de aprovechamiento energético, comparándola con estimaciones teóricas previas calculadas por el propio equipo, integra coherentemente el rigor cuantitativo desarrollado a lo largo de esta obra con una temática de creciente relevancia social, ofreciendo al estudiante una comprensión aplicada y personalmente significativa de la transición energética contemporánea. Explorar con el estudiante datos reales sobre la matriz energética de su propio país, disponibles públicamente a través de organismos gubernamentales o internacionales, y discutir en conjunto qué papel podrían desempeñar las energías renovables examinadas en esta subsección dentro de dicho contexto nacional específico, conecta el proyecto escolar particular con un panorama energético más amplio que trasciende considerablemente el alcance limitado del prototipo individual construido por cada equipo de trabajo dentro del aula.

4.5.3. Mecanismos vinculados con movilidad y transporte

Diseñar mecanismos vinculados con movilidad y transporte, tales como pequeños vehículos propulsados por distintas fuentes de energía o sistemas que faciliten el desplazamiento de objetos dentro de un espacio determinado, retoman directamente los principios de movimiento y funcionamiento de mecanismos examinados en la subsección 4.3.3 de este capítulo, aplicados ahora a un desafío de movilidad genuinamente relevante para el contexto del estudiante. Fernández et al. (2021) documentan que los proyectos de robótica educativa orientados hacia desafíos de movilidad fortalecen particularmente el aprendizaje STEAM integrado, combinando de manera natural la programación examinada en el Capítulo 3 de esta obra con los principios mecánicos examinados en la sección 4.3 de este capítulo, dentro de un desafío de diseño genuinamente interdisciplinario y motivador para el estudiante de bachillerato involucrado.

Organizar una competencia amistosa entre los prototipos de movilidad contruidos por distintos equipos, evaluando criterios explícitos tales como velocidad, eficiencia energética o capacidad de carga, añade un componente motivacional adicional que sostiene el interés del estudiante durante las etapas más exigentes del proceso de rediseño examinado en la subsección 4.4.5 de este capítulo. Cuidar que esta competencia amistosa mantenga siempre un carácter formativo y colaborativo, evitando que la rivalidad entre equipos opaque el objetivo pedagógico central del ejercicio, exige del docente comunicar con claridad, desde el inicio de la actividad, que el valor del proyecto reside en el aprendizaje alcanzado durante el proceso de diseño y no exclusivamente en el resultado final obtenido en la competencia, principio que conviene reforzar explícitamente antes, durante y después de dicha actividad conjunta entre los distintos equipos.

4.5.4. Dispositivos para medir y controlar variables ambientales

Diseñar dispositivos que midan y controlen variables ambientales, tales como temperatura, humedad o calidad del aire dentro de un espacio determinado, integra directamente los sensores examinados en la sección 3.3 del capítulo anterior de esta obra con el proceso de diseño de ingeniería desarrollado a lo largo de este cuarto capítulo, ofreciendo al estudiante un desafío particularmente completo que combina programación, electrónica sencilla y construcción física integrada. La Tabla 18 sistematiza variables ambientales relevantes y dispositivos habituales empleados para su medición y control dentro de proyectos escolares de ingeniería, orientando al docente sobre combinaciones factibles según los recursos tecnológicos y el presupuesto disponible en su institución educativa particular para este tipo de proyectos técnicos desarrollados en el aula.

Vincular estos dispositivos con un propósito comunitario concreto, tal como monitorear la calidad del aire cerca de una vía de tráfico intenso cercana a la institución educativa, o controlar automáticamente el riego de un huerto escolar comunitario, otorga a este desafío técnico una dimensión de servicio social que enriquece considerablemente su valor formativo más allá del puro ejercicio técnico desconectado de un propósito genuinamente comunitario. Programar el dispositivo para que registre sus mediciones a lo largo de varios días o semanas, en lugar de limitarse a una lectura puntual aislada, retoma directamente el registro automatizado extendido examinado en la subsección 3.3.2 del capítulo anterior de esta obra, permitiendo que el estudiante analice patrones temporales genuinos en las variables ambientales monitoreadas y comunique hallazgos considerablemente más ricos que los que ofrecería una simple lectura instantánea del dispositivo construido.

Tabla 18

Variables ambientales y dispositivos empleados para su medición y control

Variable ambiental	Dispositivo de medición habitual	Aplicación comunitaria posible
Temperatura	Sensor de temperatura digital	Monitoreo de condiciones en un huerto escolar
Humedad del suelo	Sensor de humedad capacitivo	Sistema automatizado de riego comunitario
Calidad del aire	Sensor de partículas o de gases	Alerta ante contaminación cerca de vías de tráfico

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

4.5.5. Soluciones técnicas vinculadas con sostenibilidad

Cerrar este capítulo con soluciones técnicas explícitamente vinculadas con la sostenibilidad ambiental integra los cinco campos

examinados en esta sección final dentro de un marco de responsabilidad que trasciende el puro ejercicio técnico, invitando al estudiante a considerar sistemáticamente el impacto ambiental de cada decisión de diseño adoptada a lo largo de todo el proceso desarrollado en este capítulo completo dedicado a la ingeniería aplicada. Esta consideración de sostenibilidad puede incorporarse explícitamente como un requisito adicional dentro de la matriz de selección examinada en la subsección 4.1.4 de este capítulo, exigiendo que el equipo evalúe no solamente el desempeño funcional de cada alternativa considerada, sino también su huella material, su durabilidad esperada y la posibilidad de reciclar o reutilizar sus componentes al finalizar la vida útil prevista para dicha solución.

Cerrar cada proyecto de diseño con una reflexión final escrita, donde el propio estudiante evalúe honestamente el impacto ambiental de su solución particular y proponga posibles mejoras futuras orientadas hacia una mayor sostenibilidad, consolida esta disposición reflexiva como un hábito permanente, y no como una consideración ocasional que solo aparece cuando el tema específico del proyecto lo sugiere explícitamente desde su formulación inicial. Este capítulo ha desarrollado el proceso completo del diseño de ingeniería escolar, desde la identificación de necesidades hasta soluciones orientadas a desafíos genuinos del entorno del estudiante. El Capítulo 5 de esta obra cierra el libro examinando el desempeño científico y la aplicación integrada de saberes en escenarios STEAM completos, sintetizando los cuatro capítulos precedentes de esta obra.

Este cuarto capítulo ha desarrollado el proceso completo del diseño de ingeniería escolar, desde el tránsito de un problema científico hacia un desafío de diseño concreto, pasando por la geometría, el cálculo y la optimización involucrados, los principios físicos que garantizan soluciones funcionales, y el ciclo de prototipado y rediseño, hasta culminar en aplicaciones orientadas a desafíos

genuinos del entorno inmediato del estudiante. La articulación constante con los tres capítulos anteriores de esta obra confirma que el diseño de ingeniería no constituye un territorio aislado del resto del currículo científico y matemático, sino la culminación práctica donde dichos contenidos convergen y adquieren un propósito tangible que el estudiante puede sostener, evaluar y mejorar directamente con sus propias manos a lo largo de un proyecto completo.

El profesorado que consulte estas páginas encontrará una guía progresiva para acompañar a sus estudiantes a través de un ciclo de diseño completo, reconociendo que cada una de sus etapas exige un acompañamiento pedagógico deliberado y que la calidad formativa del proceso depende considerablemente más de dicho acompañamiento que de la sofisticación técnica de los materiales o herramientas efectivamente disponibles en cada institución educativa particular. Antes de avanzar hacia el Capítulo 5, conviene retener una idea que atraviesa todo este capítulo: que diseñar soluciones de ingeniería constituye, en última instancia, un acto de responsabilidad hacia quienes eventualmente utilizarán dichas soluciones, responsabilidad que exige del estudiante tanto rigor técnico como sensibilidad genuina hacia las necesidades reales de las personas y comunidades para quienes finalmente diseña.



CAPÍTULO 5

Desempeño Científico y Aplicación de Saberes en Escenarios STEAM

Capítulo 5. Desempeño Científico y Aplicación de Saberes en Escenarios STEAM

Los cuatro capítulos anteriores de esta obra recorrieron los fundamentos conceptuales de la enseñanza integrada de Matemáticas y Física, el ciclo completo de la investigación experimental, las herramientas digitales que amplían la exploración científica y el proceso de diseño de ingeniería aplicado a desafíos del entorno. Este quinto y último capítulo cierra el libro examinando cómo el estudiante despliega, integra y demuestra los saberes construidos a lo largo de todo ese recorrido, en situaciones complejas que exigen razonamiento científico genuino y no la mera repetición de procedimientos memorizados. El propósito de estas páginas es doble: por un lado, sistematizar cómo se manifiesta un desempeño científico maduro en el bachillerato, y por otro, ofrecer al profesorado herramientas concretas para evaluar dicho desempeño con justicia y rigor. Espinoza Manzano et al. (2025) documentan que el enfoque STEAM, cuando se sostiene a lo largo de un curso completo y no se limita a una actividad aislada, produce mejoras medibles en el rendimiento académico de los estudiantes de secundaria, hallazgo que confirma el valor de la integración sostenida que ha propuesto esta obra desde su primer capítulo.

El capítulo se organiza en cinco secciones. La primera examina el razonamiento científico ante situaciones complejas. La segunda desarrolla la transferencia de saberes hacia nuevos contextos. La tercera aborda los desempeños tecnológicos y de ingeniería propiamente dichos. La cuarta sistematiza la evaluación de desempeños en proyectos interdisciplinarios, y la quinta cierra la obra completa con cinco casos y experiencias de aplicación STEAM que integran, en la práctica, todo lo desarrollado a lo largo del libro. La tesis que atraviesa este capítulo final sostiene que el verdadero indicador de una formación STEAM lograda no reside en la acumulación de

contenidos aislados, sino en la capacidad del estudiante de movilizar saberes matemáticos, físicos, tecnológicos y de ingeniería ante un problema genuino que no había enfrentado antes, articulando dichos saberes de manera coherente y comunicando sus hallazgos con honestidad intelectual.

A lo largo de este recorrido final, el lector reconocerá referencias constantes hacia subsecciones específicas de los cuatro capítulos precedentes, confirmando que este cierre no introduce competencias completamente nuevas, sino que integra y pone a prueba, en escenarios cada vez más autónomos y exigentes, todo aquello que la obra ha construido progresivamente desde sus primeras páginas dedicadas a los fundamentos epistemológicos del conocimiento matemático y físico.

5.1. Razonamiento científico ante situaciones complejas

El razonamiento científico ante situaciones complejas constituye la culminación de las competencias desarrolladas a lo largo de esta obra, exigiendo que el estudiante integre observación, cálculo, experimentación y criterio ético frente a problemas que rara vez admiten una solución única o inmediata. Martínez-Suárez (2022) documenta que el desarrollo de este pensamiento en la educación secundaria involucra tanto habilidades cognitivas como disposiciones actitudinales, y que ambas dimensiones requieren un acompañamiento pedagógico deliberado que rara vez surge de manera espontánea entre los jóvenes de bachillerato. Cinco componentes de este razonamiento se examinan a continuación: la identificación de información relevante dentro de un problema complejo, la formulación de explicaciones fundamentadas, el uso de evidencias para sustentar afirmaciones, la evaluación crítica de resultados y la toma de decisiones apoyada en conocimiento científico genuino.

Estos cinco componentes no operan de manera aislada, sino que se refuerzan mutuamente dentro de un mismo proceso de razonamiento, y su dominio conjunto constituye, en definitiva, el objetivo formativo más ambicioso de esta obra completa, aquel que trasciende cualquier contenido específico de Matemáticas o Física para convertirse en una disposición intelectual duradera.

5.1.1. Identificación de información relevante

Ante un problema científico complejo, distinguir la información esencial de aquella meramente accesoria constituye un primer filtro indispensable, retomando directamente la abstracción examinada en la subsección 3.5.3 del capítulo anterior de esta obra, ahora aplicada a situaciones que ya no se presentan de manera artificialmente simplificada por el docente, sino con el ruido y la ambigüedad propios de un desafío auténtico del mundo real. Esta capacidad exige del joven una lectura activa del problema, formulando preguntas explícitas sobre qué datos resultan efectivamente necesarios y cuáles constituyen simplemente contexto narrativo sin incidencia directa en la solución buscada, distinción que numerosos estudiantes principiantes no logran establecer con soltura sin práctica sostenida y retroalimentación oportuna del profesorado a lo largo del curso.

Presentar situaciones donde deliberadamente sobra o falta información, obligando al estudiante a solicitar los datos que efectivamente necesita antes de proceder, fortalece esta competencia de manera más eficaz que enunciados ya depurados y perfectamente ajustados a la resolución esperada, puesto que replican con mayor fidelidad la naturaleza incompleta de los problemas que se encuentran fuera del aula escolar. Esta exigencia de discernimiento conecta directamente con la observación sistemática examinada en la subsección 2.1.1 del segundo capítulo de esta obra, confirmando que la identificación de información relevante constituye una competencia transversal cultivada desde las primeras páginas de este libro y no una

habilidad exclusiva de esta etapa final del recorrido formativo propuesto.

Martínez-Suárez (2022) subraya que esta competencia de discernimiento debe entrenarse mediante situaciones progresivamente más ricas en información contradictoria o ambigua, evitando que el bachillerato conserve, hasta su etapa final, problemas artificialmente ordenados que nunca preparan verdaderamente al joven para la complejidad genuina de las decisiones científicas y técnicas que enfrentará fuera del entorno controlado del aula escolar.

5.1.2. Formulación de explicaciones fundamentadas

Formular una explicación fundamentada exige que el estudiante conecte explícitamente el fenómeno observado con principios matemáticos y físicos ya conocidos, evitando conjeturas plausibles pero carentes de sustento conceptual sólido que, aunque suenen convincentes en el momento, no resistirían un examen riguroso ante evidencia adicional recogida posteriormente. Esta exigencia retoma la construcción de conceptos a partir de evidencias examinada en la subsección 1.1.3 del primer capítulo de esta obra, recordando que una explicación madura no surge de la intuición aislada, sino de un diálogo constante entre lo observado y el marco teórico disponible que el estudiante ha construido a lo largo de su trayectoria escolar completa.

Pedir al joven que distinga explícitamente, dentro de su propia explicación, qué parte se apoya en evidencia directa y qué parte constituye una inferencia razonable pero todavía no verificada, cultiva un hábito de honestidad intelectual valioso que trasciende ampliamente el contenido específico de Matemáticas y Física y que resulta transferible hacia cualquier disciplina donde se exija argumentar con rigor y transparencia. Discutir en grupo distintas explicaciones propuestas para un mismo fenómeno, comparando su

solidez respectiva sin descartar de inmediato las menos convincentes, ofrece además una oportunidad valiosa para que el estudiante aprenda a evaluar argumentos ajenos con el mismo criterio exigente que aplica a los suyos propios dentro de la investigación desarrollada en clase.

Esta discusión colectiva de explicaciones alternativas retoma, además, la argumentación científica escolar examinada en la sección 2.5 del segundo capítulo de esta obra, confirmando que formular explicaciones fundamentadas y argumentar sobre resultados experimentales constituyen dos manifestaciones de una misma disciplina intelectual, cultivada de manera consistente a lo largo de todo el recorrido propuesto por este libro.

5.1.3. Uso de evidencias para sustentar afirmaciones

Sustentar una afirmación con evidencia concreta, y no únicamente con autoridad personal o intuición, retoma la argumentación científica desarrollada extensamente en la sección 2.5 del segundo capítulo de esta obra, exigiendo ahora del estudiante aplicar dicha disciplina argumentativa a problemas más amplios y menos guiados que los abordados en un laboratorio escolar convencional. Esta exigencia demanda que el joven cite explícitamente qué mediciones, cálculos o experimentos previos respaldan cada afirmación que realiza, práctica que, aunque exige tiempo adicional durante la elaboración de un informe o una presentación, distingue con claridad al razonamiento científico maduro del comentario meramente especulativo sobre un fenómeno estudiado.

Enseñar al estudiante a reconocer cuándo una evidencia resulta suficiente para sostener una afirmación y cuándo, por el contrario, resulta insuficiente y exige datos adicionales antes de pronunciarse con confianza, fortalece un juicio crítico que le acompañará mucho más allá del aula, en cualquier contexto donde deba evaluar afirmaciones ajenas apoyadas o no en evidencia genuina

y verificable. Un ejercicio útil consiste en presentar a la clase dos afirmaciones aparentemente similares sobre un mismo fenómeno, una respaldada por un conjunto amplio de mediciones y otra apoyada en una única observación aislada, y pedir al grupo que discuta cuál merece mayor confianza y por qué razón concreta. Esta comparación directa vuelve tangible una distinción que, presentada solo de manera teórica, suele resultar abstracta y de difícil aplicación práctica para el estudiante que recién comienza a familiarizarse con estos criterios de evaluación de evidencia científica.

Esta exigencia de sustentar cada afirmación en evidencia concreta constituye, en definitiva, uno de los aprendizajes actitudinales más transferibles que esta obra ha buscado cultivar desde su primer capítulo, competencia que acompañará al estudiante mucho más allá del aula de bachillerato, en cualquier ámbito profesional o ciudadano donde deba distinguir entre afirmaciones fundamentadas y meras opiniones sin respaldo verificable.

5.1.4. Evaluación crítica de resultados

Evaluar críticamente los resultados obtenidos exige que el estudiante examine con distancia analítica su propio trabajo, preguntándose si dichos resultados resultan razonables, si el procedimiento seguido contenía supuestos que podrían no cumplirse, y si existen explicaciones alternativas que merecerían consideración antes de dar por cerrada una investigación o un proyecto de diseño desarrollado. Esta disposición retoma la verificación de razonabilidad examinada en la subsección 2.5.2 del segundo capítulo de esta obra, ahora ejercitada frente a situaciones donde el estudiante ya no cuenta con la guía cercana del docente en cada paso, sino que debe asumir de manera autónoma la responsabilidad de someter su propio trabajo a un examen honesto y riguroso.

Instalar la costumbre de dedicar un momento explícito, al concluir cualquier tarea científica extensa, a preguntarse qué podría estar equivocado en el trabajo realizado, en lugar de aceptar automáticamente el primer resultado obtenido como correcto, distingue a los estudiantes que desarrollan un juicio científico maduro de aquellos que confunden la finalización formal de una tarea con su validez efectiva. Solicitar que cada equipo intercambie su trabajo con otro equipo antes de la entrega final, buscando activamente posibles debilidades en el razonamiento ajeno, introduce una revisión cruzada que replica, a escala escolar, la revisión por pares que sostiene el avance genuino del conocimiento científico fuera del aula. Esta práctica, además, entrena al estudiante para recibir observaciones críticas sobre su propio trabajo sin experimentarlas como un ataque personal, disposición emocional que resulta tan valiosa como la competencia técnica que se pretende desarrollar.

5.1.5. Toma de decisiones basada en conocimiento científico

Tomar decisiones apoyadas en conocimiento científico, y no en impresiones o preferencias personales sin fundamento, constituye el punto de llegada de todo el razonamiento examinado en esta sección, exigiendo del estudiante trasladar su comprensión conceptual hacia elecciones concretas con consecuencias reales dentro de un proyecto o una investigación en curso. La Figura 14 representa el proceso de toma de decisiones basado en conocimiento científico, ilustrando cómo la identificación de información relevante, la formulación de explicaciones y el uso de evidencia convergen en una decisión final que el estudiante puede justificar ante otros de manera clara y coherente.

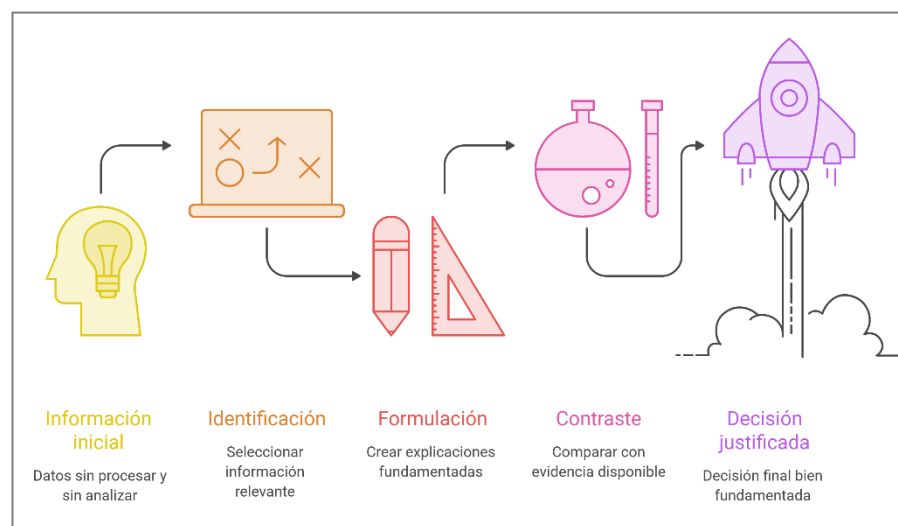
Esta capacidad decisoria fundamentada resulta especialmente valiosa cuando se ejercita ante decisiones que involucran costos, riesgos o compromisos entre criterios que compiten entre sí, situación que retoma directamente la optimización de parámetros examinada en la subsección 4.2.5 del cuarto capítulo de esta obra, ahora extendida

hacia decisiones de alcance más amplio que el puro diseño técnico. Espinoza Manzano et al. (2025) documentan que los estudiantes formados bajo un enfoque STEAM sostenido muestran mayor disposición a fundamentar sus decisiones en evidencia disponible, incluso frente a presión social o expectativas contrarias del grupo, hallazgo que sugiere que esta capacidad decisoria trasciende el aula escolar y se traduce en una disposición ciudadana valiosa frente a decisiones cotidianas que requieren juicio informado.

Esta sección ha desarrollado el razonamiento científico que el estudiante despliega ante situaciones genuinamente complejas. La sección siguiente examina cómo dicho razonamiento, junto con los saberes acumulados a lo largo de esta obra, se transfiere hacia contextos nuevos que el joven no había enfrentado previamente en su trayectoria escolar.

Figura 14

Proceso de toma de decisiones basado en conocimiento científico



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

5.2. Transferencia de saberes a nuevos contextos

La transferencia de saberes hacia contextos nuevos constituye, según documentan Sepúlveda Obreque et al. (2023) en su estudio sobre textos escolares chilenos de Ciencias Naturales, uno de los objetivos formativos más difíciles de alcanzar en la educación básica, puesto que la mayoría de las actividades escolares promueve únicamente transferencia dentro de contextos muy similares al de aprendizaje original, dejando escasamente ejercitada la capacidad de aplicar lo aprendido en situaciones genuinamente distintas. Cinco componentes de esta transferencia se examinan a continuación: el reconocimiento de principios aplicables más allá del contexto original, la adaptación de procedimientos ante condiciones diferentes, la vinculación entre conceptos y situaciones reales, la selección de recursos según la naturaleza del desafío enfrentado y la generalización de aprendizajes obtenidos a lo largo de esta obra.

Estos cinco componentes conducen al estudiante desde el reconocimiento pasivo de una similitud entre situaciones hasta la aplicación activa y deliberada de un saber ya construido, recorrido gradual que exige acompañamiento pedagógico sostenido y no puede darse por adquirido de manera espontánea a lo largo del curso escolar.

5.2.1. Reconocimiento de principios aplicables

Reconocer que un principio aprendido en un contexto resulta igualmente válido en otro, aparentemente distinto, exige que el estudiante mire más allá de la superficie del problema hacia su estructura profunda, competencia que retoma el reconocimiento de patrones examinado en la subsección 3.5.2 del tercer capítulo de esta obra. Sepúlveda Obreque et al. (2023) advierten que los textos escolares tienden a favorecer una transferencia cercana, donde el nuevo contexto apenas difiere del original, dejando poco espacio para que el joven ejercite el salto cognitivo que exige aplicar un principio

hacia una situación sustancialmente distinta a la estudiada inicialmente en clase.

El docente puede compensar esta limitación diseñando deliberadamente actividades donde un mismo principio físico o matemático, ya trabajado en un contexto conocido, deba aplicarse a un fenómeno visiblemente diferente, tales como transferir la lógica del movimiento uniformemente acelerado, estudiada con carritos de laboratorio, hacia el análisis de la caída de gotas de lluvia observadas en un video grabado por el propio estudiante. Esta práctica deliberada de transferencia amplia, sostenida a lo largo del curso y no reservada únicamente para las evaluaciones finales, fortalece progresivamente la flexibilidad conceptual del joven, preparándolo para reconocer principios matemáticos y físicos en situaciones que la vida cotidiana y profesional le presentará mucho después de concluir su etapa escolar.

Documentar explícitamente, dentro de una carpeta o registro personal, cada caso donde el estudiante logró reconocer un mismo principio en dos contextos distintos, construye a lo largo del año un catálogo tangible de su propia flexibilidad conceptual creciente, catálogo que además ofrece al docente evidencia concreta y acumulada del desarrollo de esta competencia a lo largo de todo el curso escolar.

5.2.2. Adaptación de procedimientos ante condiciones diferentes

Adaptar un procedimiento ya conocido a condiciones distintas de las originales exige que el estudiante identifique qué elementos del procedimiento deben modificarse y cuáles permanecen válidos sin cambio alguno, distinción que retoma directamente la revisión de modelos frente a nuevas condiciones examinada en la subsección 1.5.5 del primer capítulo de esta obra. Esta adaptación no constituye una tarea puramente mecánica de sustituir valores dentro de una fórmula ya conocida, sino una decisión conceptual que exige

comprender por qué el procedimiento original funcionaba, para así determinar con criterio propio qué ajustes resultan efectivamente necesarios ante el nuevo escenario que el estudiante enfrenta.

Proponer al joven experimentos que replican una investigación previa, pero bajo condiciones ligeramente modificadas, tales como cambiar la magnitud de una fuerza aplicada o la escala de un prototipo ya construido, ofrece una vía concreta y accesible para ejercitar esta adaptación sin exigir todavía el salto completo hacia un contexto radicalmente distinto del original. Documentar explícitamente, en cada réplica modificada, qué resultado se esperaba a partir del procedimiento original y qué resultado efectivamente se obtuvo bajo las nuevas condiciones, permite al estudiante identificar con claridad si su adaptación resultó acertada o si todavía requiere ajustes adicionales. Este ejercicio de comparación sistemática entre expectativa y resultado consolida una disposición metódica hacia la adaptación que trasciende el contenido específico trabajado y que el joven podrá aplicar frente a situaciones futuras que esta obra no alcanzó a anticipar de manera explícita.

5.2.3. Vinculación entre conceptos y situaciones reales

Vincular explícitamente un concepto matemático o físico con una situación real de la vida del estudiante retoma la vinculación del conocimiento con problemas del entorno examinada en la subsección 1.2.5 del primer capítulo de esta obra, ahora ejercitada como una disposición permanente y no como un episodio puntual dentro del curso escolar. La Tabla 19 sistematiza ejemplos de adaptación de procedimientos ante diferentes condiciones y contextos, ilustrando cómo un mismo principio conceptual puede vincularse con situaciones domésticas, comunitarias o tecnológicas que el estudiante reconoce como parte genuina de su experiencia cotidiana fuera del aula.

Pedir al estudiante que, al finalizar cada unidad temática, identifique por su cuenta al menos una situación de su propia vida donde el concepto recién estudiado resulte aplicable, en lugar de esperar que el docente proponga siempre dicha vinculación, fomenta una disposición activa hacia la transferencia que se sostiene mucho más allá de las actividades específicas diseñadas por el profesorado a lo largo del curso escolar. Recopilar estas vinculaciones en un cuaderno personal que el estudiante conserva y enriquece a lo largo de todo el año lectivo, revisándolo periódicamente junto con el docente, permite constatar el crecimiento progresivo de esta disposición y ofrece, además, un insumo valioso para que el joven redacte con soltura, al final del curso, un balance personal sobre cómo las matemáticas y la física se hicieron presentes en su vida cotidiana durante ese periodo formativo.

Tabla 19

Adaptación de procedimientos ante diferentes condiciones y contextos

Procedimiento original	Nuevo contexto de aplicación	Ajuste requerido
Cálculo de resistencia estructural	Diseño de mobiliario escolar reciclado	Considerar materiales de menor resistencia
Análisis de movimiento con sensores	Estudio del tránsito frente a la institución	Adaptar la escala temporal de medición
Optimización energética de un prototipo	Sistema de riego de un huerto comunitario	Incorporar variabilidad climática real

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

5.2.4. Selección de recursos según la naturaleza del desafío

Seleccionar los recursos matemáticos, físicos o tecnológicos más apropiados para un desafío nuevo exige que el estudiante reconozca, entre todo lo aprendido a lo largo de esta obra, cuáles

herramientas resultan efectivamente pertinentes para el problema que enfrenta y cuáles, aunque conocidas, no aportan valor en ese caso concreto. Esta selección competente distingue al estudiante que ha desarrollado un dominio flexible del contenido de aquel que aplica mecánicamente la última herramienta estudiada, sin detenerse a evaluar si dicha herramienta resulta genuinamente la más adecuada para la situación particular que tiene frente a sí en ese momento.

Presentar desafíos abiertos donde exista más de un camino de solución viable, cada uno apoyado en herramientas distintas de las desarrolladas a lo largo de esta obra, y pedir al estudiante que justifique por qué eligió una vía sobre otra, fortalece esta capacidad de selección crítica de manera bastante más eficaz que ejercicios cerrados con un único procedimiento esperado. Organizar una puesta en común donde distintos equipos, tras haber resuelto el mismo desafío mediante caminos diferentes, expongan brevemente su elección y sus razones, expone al conjunto del curso a una diversidad de estrategias válidas que ningún estudiante individual habría descubierto por sí solo. Esta exposición colectiva de caminos alternativos enriquece el repertorio de recursos que cada joven reconoce como disponible, ampliando su flexibilidad ante futuros desafíos que exijan una selección igualmente deliberada entre opciones legítimas.

5.2.5. Generalización de aprendizajes obtenidos

Generalizar los aprendizajes obtenidos a lo largo de esta obra implica que el estudiante extraiga, de sus experiencias particulares con la investigación experimental, la simulación digital o el diseño de ingeniería, principios más amplios que trascienden cada actividad específica y que puede reconocer aplicables a desafíos futuros todavía desconocidos. Esta generalización se favorece cuando el docente dedica espacios explícitos de cierre, al final de cada proyecto extenso, donde el estudiante articula por escrito qué aprendió más allá del contenido específico trabajado, ejercicio metacognitivo que consolida

el conocimiento de manera más duradera que la sola finalización del proyecto sin esta reflexión posterior.



Comparar, hacia el final del curso, las reflexiones de cierre redactadas en distintos momentos del año permiten al estudiante reconocer patrones recurrentes en su propio aprendizaje, tales como qué tipo de dificultades enfrenta con mayor frecuencia o qué estrategias le resultan efectivas de manera consistente. Este análisis retrospectivo, guiado por el docente hacia el final del año escolar, convierte una serie de reflexiones aisladas en un perfil formativo genuinamente útil para el propio estudiante. Esta sección ha desarrollado la transferencia de saberes hacia contextos nuevos como competencia central del desempeño científico maduro. La sección siguiente examina cómo dicha transferencia se manifiesta concretamente en desempeños tecnológicos y de ingeniería que el estudiante puede demostrar ante una audiencia externa al aula.

5.3. Desempeños tecnológicos y de ingeniería

Los desempeños tecnológicos y de ingeniería sintetizan, en un producto tangible, buena parte de las competencias matemáticas y físicas desarrolladas a lo largo de esta obra, exigiendo del estudiante demostrar no solo comprensión conceptual, sino capacidad efectiva de construir soluciones funcionales. Santillán Jiménez (2024) documenta que metodologías activas como el modelo 5E fortalecen de manera medible las competencias de ciencia y tecnología entre estudiantes de secundaria, sobre todo cuando dichas metodologías se sostienen a lo largo de un periodo extenso y no se limitan a una intervención breve y aislada.

Cinco componentes de estos desempeños se examinan a continuación: el uso funcional de recursos tecnológicos, la planificación técnica de una propuesta, la construcción de productos verificables, la comprobación del desempeño alcanzado y la mejora de propuestas a partir de la evidencia obtenida durante dicha comprobación. Estos cinco componentes retoman de manera integrada las competencias de diseño de ingeniería desarrolladas en el cuarto capítulo de esta obra, exigiendo ahora del estudiante desplegarlas con un grado de autonomía mayor que el ejercitado durante los proyectos guiados de capítulos anteriores del libro.

5.3.1. Uso funcional de recursos tecnológicos

Emplear recursos tecnológicos de manera funcional, y no meramente decorativa, exige que el estudiante seleccione cada herramienta digital examinada en el tercer capítulo de esta obra, ya sea un simulador, un sensor o un lenguaje de programación, porque efectivamente resuelve una necesidad concreta del proyecto y no simplemente porque añade una apariencia moderna a un trabajo escolar convencional. Esta distinción entre uso funcional y uso decorativo resulta especialmente relevante en proyectos finales donde

la tentación de incorporar tecnología por su valor visual, sin justificación técnica sólida, puede desviar el esfuerzo del estudiante hacia aspectos secundarios en desmedro de la solidez conceptual y funcional que el proyecto efectivamente requiere.

Pedir al estudiante que justifique explícitamente, para cada herramienta tecnológica incorporada a su proyecto, qué problema concreto resuelve dicha herramienta y qué ocurriría si se prescindiera de ella, fortalece un criterio de selección tecnológica maduro que le acompañará en cualquier ámbito profesional donde deba decidir con responsabilidad qué tecnologías incorporar y cuáles descartar. Esta exigencia de justificación conecta directamente con la evaluación de entornos interactivos examinada en la subsección 3.1.5 del tercer capítulo de esta obra, confirmando que el criterio para incorporar tecnología con sentido se cultiva de manera sostenida a lo largo de todo el recorrido propuesto por este libro y no únicamente en su etapa final.

Santillán Jiménez (2024) documenta que las metodologías activas sostenidas, como el modelo 5E, favorecen precisamente este uso reflexivo de la tecnología, puesto que exigen del estudiante justificar cada decisión ante distintas etapas del ciclo de aprendizaje, en lugar de incorporar herramientas digitales de manera impulsiva sin una conexión explícita con los objetivos formativos perseguidos por el proyecto en desarrollo.

5.3.2. Planificación técnica de una propuesta

Planificar técnicamente una propuesta retoma directamente la planificación del proceso de construcción examinada en la subsección 4.1.5 del cuarto capítulo de esta obra, exigiendo ahora del estudiante aplicar dicha planificación de manera autónoma, sin la guía tan estrecha que pudo haber recibido durante proyectos anteriores del curso. Esta planificación autónoma exige que el joven anticipe recursos, tiempos y posibles dificultades con un nivel de detalle

suficiente para que otros integrantes del equipo, o incluso una persona externa al proyecto, comprendan claramente qué se pretende construir y cómo se llevará a cabo dicha construcción dentro del plazo.

Someter esta planificación a una revisión previa por parte del docente, antes de autorizar el inicio de la construcción efectiva, permite detectar a tiempo vacíos o inconsistencias que, de pasar desapercibidos, comprometerían seriamente la viabilidad del proyecto una vez avanzada la etapa de construcción material del prototipo diseñado por el equipo escolar. Exigir que esta planificación incluya un cronograma con fechas concretas para cada hito intermedio, y no únicamente una descripción general de las tareas previstas, entrena al estudiante en una disciplina de gestión de tiempo que rara vez se enseña de manera explícita en el currículo escolar tradicional, pese a constituir una competencia decisiva para el éxito de cualquier proyecto de ingeniería que exceda una única sesión de trabajo.

5.3.3. Construcción de productos verificables

Construir un producto verificable exige que el estudiante diseñe su solución de manera que sus resultados puedan someterse a prueba objetiva, y no permanezcan como afirmaciones sin respaldo empírico sobre lo que el dispositivo o la propuesta supuestamente logra alcanzar ante una audiencia evaluadora. Esta exigencia de verificabilidad retoma la definición de pruebas de funcionamiento examinada en la subsección 4.4.3 del cuarto capítulo de esta obra, recordando que todo producto de ingeniería escolar debe incorporar, desde su concepción inicial, un mecanismo claro para demostrar que efectivamente cumple con los requisitos que el equipo se propuso satisfacer.

Exigir que cada proyecto incluya una demostración en vivo ante evaluadores, y no únicamente un informe escrito que describa lo que el producto haría en teoría, garantiza que la construcción efectivamente funcione y no permanezca como una propuesta conceptual que nunca

llegó a materializarse en un objeto operativo y comprobable de manera directa. Grabar en video esta demostración, además de presentarla en vivo, ofrece un respaldo adicional que permite revisar posteriormente detalles del funcionamiento que podrían pasar desapercibidos durante una única observación presencial, y constituye además un registro valioso que el propio equipo puede conservar como evidencia tangible de su trabajo desarrollado a lo largo de todo el proyecto escolar.

5.3.4. Comprobación del desempeño alcanzado

Comprobar el desempeño alcanzado exige que el estudiante compare formalmente los resultados obtenidos con los criterios de éxito definidos desde el inicio del proyecto, retomando la evaluación crítica de resultados examinada en la sección 5.1 de este mismo capítulo, ahora aplicada específicamente al producto tecnológico construido por el equipo escolar. Esta comparación formal exige documentar con precisión qué se midió, cómo se midió y qué resultado numérico o cualitativo se obtuvo, evitando afirmaciones vagas sobre el éxito del proyecto que no puedan sustentarse ante preguntas específicas formuladas por un evaluador externo al equipo de trabajo.

Presentar esta comprobación junto con las limitaciones honestamente reconocidas del desempeño alcanzado, en lugar de ocultar aspectos donde el producto no cumplió plenamente lo esperado, refleja la misma honestidad intelectual cultivada a lo largo de esta obra y distingue a un desempeño científico maduro de una presentación meramente comercial del proyecto desarrollado. Valorar explícitamente, dentro de los criterios de evaluación, la calidad de esta honestidad al reconocer limitaciones, y no únicamente el desempeño técnico bruto del prototipo, envía un mensaje formativo poderoso: que ocultar debilidades para aparentar un éxito completo resulta considerado un error más grave que presentar un producto imperfecto acompañado de un análisis honesto y bien fundamentado de sus propias limitaciones reconocidas.

5.3.5. Mejora de propuestas a partir de evidencias

Mejorar una propuesta a partir de la evidencia obtenida durante su comprobación cierra el ciclo de desempeño tecnológico examinado en esta sección, retomando el rediseño basado en resultados examinado en la subsección 4.4.5 del cuarto capítulo de esta obra, ahora aplicado de manera autónoma por el estudiante ante su propio producto final. La Figura 15 representa el ciclo de mejora de propuestas a partir de evidencias, ilustrando cómo la comprobación del desempeño alimenta decisiones concretas de ajuste que, a su vez, generan un producto mejorado sujeto nuevamente a comprobación dentro del tiempo disponible para el proyecto escolar.

Esta disposición hacia la mejora continua, sostenida incluso después de alcanzar un resultado satisfactorio, distingue al estudiante que comprende genuinamente el espíritu de la ingeniería de aquel que se conforma con el primer producto funcional sin explorar si aún existen márgenes razonables de perfeccionamiento disponibles. Reconocer públicamente, dentro del aula, aquellos casos donde un equipo dedicó tiempo adicional a perfeccionar un producto ya satisfactorio, aun sin obligación curricular de hacerlo, refuerza el valor de esta disposición ante el resto del curso, comunicando que la excelencia técnica constituye un objetivo digno de perseguir por su propio mérito y no únicamente como requisito mínimo exigido para aprobar la asignatura correspondiente.

Esta sección ha desarrollado los desempeños tecnológicos y de ingeniería que sintetizan las competencias construidas a lo largo de esta obra. La sección siguiente examina cómo dichos desempeños, junto con el razonamiento científico y la transferencia de saberes, se evalúan formalmente dentro de proyectos interdisciplinarios completos.

Figura 15*Ciclo de mejora de propuestas a partir de evidencias*

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

5.4. Evaluación de desempeños en proyectos interdisciplinarios

Evaluar desempeños en proyectos interdisciplinarios exige instrumentos que capturen la riqueza de competencias examinadas a lo largo de esta obra, superando la evaluación tradicional centrada exclusivamente en contenidos memorizados. Pérez Torres et al. (2023) documentan, a partir del análisis de proyectos STEAM implementados en escuelas secundarias españolas, que existe una notable disparidad en la sofisticación con que dichos proyectos abordan criterios científicos y tecnológicos frente a criterios propios de otras disciplinas integradas, lo cual subraya la necesidad de instrumentos de evaluación cuidadosamente diseñados y equilibrados. Cinco componentes de

esta evaluación se examinan a continuación: las evidencias para valorar razonamiento matemático y físico, los criterios de logro científico, tecnológico y técnico, las rúbricas apropiadas para experimentos, prototipos y proyectos, la valoración conjunta del proceso y del producto obtenido, y la retroalimentación orientada al perfeccionamiento del desempeño demostrado por el estudiante.

Estos cinco componentes ofrecen al profesorado un marco evaluativo completo, capaz de reconocer y valorar la riqueza multidimensional de un proyecto STEAM genuino, en lugar de reducir dicha riqueza a una única calificación numérica que difícilmente reflejaría con justicia el trabajo efectivamente realizado por cada equipo escolar.

5.4.1. Evidencias para valorar razonamiento matemático y físico

Valorar el razonamiento matemático y físico desplegado en un proyecto interdisciplinario exige recopilar evidencias que trasciendan el producto final, incluyendo bocetos, cálculos intermedios, registros de laboratorio y borradores sucesivos que documenten el proceso de pensamiento del estudiante a lo largo de todo el trabajo desarrollado. Esta ampliación de las evidencias consideradas retoma el registro sistemático examinado en la subsección 2.2.5 del segundo capítulo de esta obra, recordando que un producto final impecable puede en ocasiones ocultar un proceso de razonamiento frágil, mientras que un producto imperfecto puede reflejar un proceso de pensamiento genuinamente sólido y bien fundamentado.

Solicitar explícitamente al estudiante que conserve y entregue estos registros intermedios, en lugar de valorar únicamente el resultado terminado, comunica que el proceso de razonamiento matemático y físico se considera tan relevante como el producto final, mensaje pedagógico que refuerza los principios examinados desde el primer capítulo de esta obra. Establecer un formato sencillo y

estandarizado para la entrega de estos registros intermedios, común a lo largo de todo el año escolar, facilita tanto la organización del propio estudiante como la revisión eficiente por parte del docente, evitando que la valoración del proceso se convierta en una carga administrativa desproporcionada frente al beneficio formativo que dicha valoración efectivamente aporta al conjunto del curso.

5.4.2. Criterios de logro científico, tecnológico y técnico

Definir criterios de logro diferenciados para las dimensiones científica, tecnológica y técnica de un proyecto interdisciplinario evita que una sola de estas dimensiones domine injustamente la evaluación completa, sesgo que Pérez Torres et al. (2023) documentan como frecuente en la sofisticación desigual con que numerosos proyectos STEAM abordan cada componente involucrado. La Tabla 20 sistematiza criterios diferenciados para valorar el logro científico, tecnológico y técnico dentro de un mismo proyecto, orientando al docente sobre qué evidencias buscar específicamente en cada dimensión antes de emitir un juicio evaluativo global sobre el trabajo presentado por el equipo de estudiantes.

Comunicar estos criterios diferenciados al estudiante desde el inicio del proyecto, y no únicamente al momento de la evaluación final, permite que el equipo distribuya conscientemente su esfuerzo entre las tres dimensiones, evitando que alguna de ellas quede desatendida por falta de claridad sobre qué se valorará efectivamente al concluir el trabajo desarrollado. Revisar periódicamente, junto con cada equipo, el avance relativo en cada una de las tres dimensiones durante sesiones intermedias del proyecto, y no únicamente en la evaluación final, permite corregir a tiempo desequilibrios donde un componente recibe atención desproporcionada mientras otro queda relegado, situación frecuente cuando el estudiante se siente más cómodo trabajando en un área que en las demás igualmente exigidas por el proyecto.

Tabla 20*Criterios para valorar el logro científico, tecnológico y técnico*

Dimensión	Qué evidencia buscar	Ejemplo de indicador
Científica	Rigor conceptual y uso de evidencia	Explicaciones fundamentadas en principios estudiados
Tecnológica	Uso funcional de herramientas digitales	Justificación clara de cada recurso incorporado
Técnica	Funcionalidad y calidad de construcción	Prototipo que cumple los requisitos definidos

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

5.4.3. Rúbricas para experimentos, prototipos y proyectos

Las rúbricas, entendidas como matrices que describen niveles de logro para cada criterio evaluado, ofrecen transparencia tanto al estudiante como al docente sobre qué distingue un desempeño sobresaliente de uno apenas satisfactorio dentro de un experimento, un prototipo o un proyecto interdisciplinario completo. Navarrete-Artime y Belver Domínguez (2022) documentan que el uso sostenido de rúbricas en el aprendizaje basado en proyectos, aunque exige un periodo de adaptación inicial cuando el alumnado no está familiarizado con este instrumento, termina fortaleciendo de manera notable su espíritu crítico y su capacidad de autoevaluación honesta sobre el propio trabajo realizado.

La Tabla 21 sistematiza componentes habituales de una rúbrica apropiada para evaluar experimentos, prototipos y proyectos escolares, distinguiendo dimensiones tales como el rigor conceptual, la funcionalidad técnica, la documentación del proceso y la calidad de la comunicación final del trabajo desarrollado por el estudiante. Involucrar al propio estudiantado en la construcción o el ajuste de estas rúbricas, en lugar de presentarlas siempre como un instrumento ya

cerrado y ajeno a su participación, fortalece la comprensión genuina de los criterios evaluados y reduce la sensación de arbitrariedad que a veces acompaña a los procesos de evaluación escolar tradicional.

Aplicar la misma rúbrica de manera consistente a lo largo de varios proyectos sucesivos, en lugar de diseñar un instrumento distinto para cada actividad puntual, permite al estudiante familiarizarse progresivamente con los criterios evaluados y concentrar su energía en mejorar su desempeño respecto de dichos criterios ya conocidos, en lugar de invertir tiempo adicional en descifrar, cada vez, qué espera exactamente el docente de un nuevo instrumento de evaluación desconocido.

Tabla 21

Componentes de una rúbrica para experimentos, prototipos y proyectos

Componente	Qué describe	Niveles habituales de logro
Rigor conceptual	Solidez del razonamiento matemático y físico	Insuficiente, en desarrollo, logrado, sobresaliente
Funcionalidad técnica	Grado de cumplimiento de los requisitos definidos	Insuficiente, en desarrollo, logrado, sobresaliente
Documentación del proceso	Claridad y completitud del registro conservado	Insuficiente, en desarrollo, logrado, sobresaliente
Comunicación final	Claridad al presentar hallazgos y limitaciones	Insuficiente, en desarrollo, logrado, sobresaliente

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

5.4.4. Valoración del proceso y del producto obtenido

Valorar conjuntamente el proceso seguido y el producto finalmente obtenido evita dos extremos igualmente problemáticos: evaluar únicamente el resultado, ignorando el esfuerzo y el aprendizaje genuino que pudo ocurrir pese a un producto imperfecto, o evaluar

únicamente el proceso, sin exigir nunca que dicho proceso se traduzca en un resultado tangible y verificable. Esta valoración conjunta retoma el equilibrio ya examinado a lo largo de esta obra entre rigor conceptual y funcionalidad práctica, reconociendo que ambos aspectos aportan información complementaria sobre la calidad genuina del aprendizaje logrado por el estudiante a lo largo del proyecto completo desarrollado en el curso escolar.

Asignar ponderaciones explícitas a proceso y producto dentro de la calificación final, comunicadas con claridad desde el inicio del proyecto, evita disputas posteriores sobre criterios de evaluación que se perciban como poco transparentes o modificados arbitrariamente una vez concluido el trabajo presentado por cada equipo de estudiantes. Permitir que el equipo aporte su propia narrativa sobre el proceso recorrido, incluyendo decisiones que finalmente no prosperaron pero que reflejaron un esfuerzo genuino de exploración, complementa la valoración puramente cuantitativa del producto final con una comprensión más completa del trabajo intelectual efectivamente invertido a lo largo de todas las etapas del proyecto desarrollado por el equipo escolar.

5.4.5. Retroalimentación orientada al perfeccionamiento del desempeño

La retroalimentación que efectivamente orienta el perfeccionamiento del desempeño trasciende la sola calificación numérica, ofreciendo al estudiante indicaciones concretas sobre qué mejorar y cómo hacerlo, en lugar de limitarse a señalar aciertos y errores sin ofrecer un camino claro hacia un desempeño superior en trabajos posteriores. Moya-Muñoz et al. (2025) documentan que la retroalimentación formativa, cuando se ofrece de manera oportuna y específica, favorece sensiblemente el desempeño escolar, distinguiéndose de la retroalimentación tardía o genérica que aporta escaso valor formativo real al estudiante que la recibe.

Ofrecer esta retroalimentación en distintos momentos del proyecto, y no únicamente al final del trabajo cuando ya resulta imposible aplicar ajustes, permite que el estudiante incorpore efectivamente las sugerencias recibidas dentro del mismo proyecto en curso, en lugar de guardarlas para una eventual tarea futura y distinta de la que originó dicha retroalimentación. Enseñar al propio estudiante a formular retroalimentación constructiva hacia sus compañeros, y no solo a recibirla del docente, distribuye esta responsabilidad formativa entre todo el grupo y multiplica las oportunidades de recibir observaciones útiles antes de la entrega final, práctica que además fortalece la capacidad de análisis crítico del estudiante que ofrece dicha retroalimentación, beneficio formativo tan valioso como el que recibe quien la escucha.

Esta sección ha desarrollado los instrumentos y principios que sostienen una evaluación justa de proyectos interdisciplinarios. La sección final de este capítulo, y de esta obra completa, presenta casos y experiencias concretas donde estos principios de evaluación y desempeño se integran en la práctica real del aula de bachillerato.

5.5. Casos y experiencias de aplicación STEAM

Esta sección final de la obra ilustra, mediante cinco casos compuestos que sintetizan patrones documentados en la literatura examinada a lo largo del libro, cómo los principios desarrollados en los cinco capítulos se articulan en la práctica concreta de un aula de bachillerato. Greca et al. (2021) documentan, a partir del diseño y evaluación de una secuencia STEAM aplicada en contextos educativos reales, que la integración efectiva de las cinco áreas convergentes exige una planificación cuidadosa capaz de sostener el rigor disciplinar sin sacrificar la coherencia interdisciplinaria del proyecto completo.

Cinco casos ilustrativos cierran esta obra: el diseño y construcción de una estructura resistente, el análisis del movimiento

mediante sensores y funciones, el aprovechamiento de energía mediante un prototipo a pequeña escala, la simulación computacional de un fenómeno físico, y un caso interdisciplinario completo de diseño, construcción y validación de una solución para el entorno del estudiante. Estos cinco casos, aunque presentados de manera compuesta con fines ilustrativos, sintetizan patrones genuinamente documentados a lo largo de esta obra, ofreciendo al lector una narrativa concreta que integra los principios técnicos y pedagógicos desarrollados de manera más abstracta en los capítulos precedentes de este libro.

5.5.1. Caso de diseño y construcción de una estructura resistente

Un grupo de estudiantes de bachillerato, motivado por la necesidad de reforzar un techado escolar dañado tras una temporada de lluvias intensas, aplica los principios de estabilidad y equilibrio examinados en la subsección 4.3.1 del cuarto capítulo de esta obra para diseñar una estructura de soporte adicional, comenzando por identificar la necesidad concreta que motiva el proyecto completo. El equipo formula hipótesis sobre la configuración geométrica más eficiente, construye maquetas a escala siguiendo la proporcionalidad examinada en la subsección 4.2.2, y somete cada versión a pruebas de carga progresiva, documentando sistemáticamente en qué punto ocurre la falla estructural de cada configuración ensayada durante el proceso experimental.

Tras varias iteraciones de rediseño, el equipo presenta ante la administración escolar una propuesta fundamentada en datos concretos de resistencia comparada, demostrando cómo el razonamiento científico examinado en la sección 5.1 de este capítulo se traduce en una decisión técnica con consecuencias reales para la comunidad educativa completa. Este caso ilustra la integración fluida entre matemáticas, física y diseño de ingeniería que ha constituido el hilo conductor de esta obra, mostrando que un problema cotidiano

puede convertirse en una oportunidad formativa de gran valor cuando se aborda con el rigor metodológico desarrollado a lo largo de los capítulos precedentes.

Además de resolver la necesidad inmediata que originó el proyecto, la experiencia deja a los estudiantes un aprendizaje que trasciende el techado específico reparado: la convicción de que el conocimiento matemático y físico aprendido en el aula posee aplicabilidad real y verificable, convicción que difícilmente surgiría de ejercicios puramente teóricos desconectados de una necesidad institucional tangible como la que este equipo enfrentó y resolvió de manera satisfactoria.

5.5.2. Experiencia de análisis del movimiento mediante sensores y funciones

Un estudiante interesado en el ciclismo decide investigar la relación entre la pendiente de una calle cercana a su vivienda y la velocidad que alcanza al recorrerla, empleando un sensor de movimiento sencillo examinado en la sección 3.3 del tercer capítulo de esta obra para capturar datos de posición y tiempo durante distintos recorridos experimentales. Tras organizar los datos siguiendo las herramientas examinadas en la sección 2.3 del segundo capítulo, el joven identifica una relación funcional entre la inclinación de la pendiente y la aceleración registrada, contrastando dicha relación con el modelo teórico correspondiente a la caída bajo la acción de la gravedad estudiado en el primer capítulo de esta obra. El estudiante descubre discrepancias entre el modelo teórico simplificado y sus mediciones reales, atribuibles a la fricción del pavimento y la resistencia del aire, discrepancias que, lejos de invalidar su trabajo, enriquecen su comprensión de los supuestos simplificadores examinados en la subsección 1.5.2 del primer capítulo de esta obra.

Esta experiencia demuestra cómo un interés personal cotidiano puede transformarse en una investigación científica rigurosa cuando el estudiante dispone de las herramientas conceptuales y tecnológicas desarrolladas a lo largo de este libro, confirmando el valor formativo de vincular el aprendizaje con la vida real del joven. El estudiante comparte finalmente su investigación con el club de ciclismo de su institución, generando interés entre compañeros que hasta entonces no relacionaban su afición deportiva con contenidos matemáticos y físicos estudiados en clase, extensión espontánea del proyecto que ejemplifica cómo el conocimiento científico, bien comunicado, puede despertar curiosidad genuina más allá del círculo inicial de estudiantes directamente involucrados en la investigación original.

Este caso confirma, además, un principio recurrente en esta obra: que los proyectos nacidos de un interés genuinamente personal del estudiante suelen sostener niveles de motivación y persistencia considerablemente superiores a los que despierta una tarea asignada sin conexión con sus propios intereses, razón por la cual el profesorado hace bien en dejar suficiente espacio curricular para que iniciativas como esta puedan surgir y desarrollarse plenamente.

5.5.3. Caso de aprovechamiento de energía mediante un prototipo a pequeña escala

Un equipo de estudiantes, preocupado por el consumo eléctrico de los ventiladores del laboratorio de ciencias durante los meses cálidos, diseña un pequeño panel solar orientado a suplir parcialmente dicho consumo, retomando los principios de transferencia energética examinados en la subsección 4.3.4 del cuarto capítulo de esta obra. La Tabla 22 sistematiza los elementos de análisis que el equipo consideró durante este caso, incluyendo la energía captada por el panel bajo distintas condiciones de irradiación solar, la energía efectivamente consumida por el ventilador y la eficiencia calculada del sistema completo diseñado por los estudiantes

participantes. El equipo mide sistemáticamente el desempeño de su prototipo durante varias semanas, aplicando el registro automatizado examinado en la subsección 3.3.2 del tercer capítulo de esta obra, y presenta finalmente un informe que reconoce honestamente las limitaciones de eficiencia observadas junto con los logros efectivamente alcanzados.

Este caso ilustra cómo un problema institucional concreto, vinculado con la sostenibilidad examinada en la subsección 4.5.5 del cuarto capítulo de esta obra, ofrece a los estudiantes una oportunidad genuina de aplicar simultáneamente conocimientos de física, matemáticas y tecnología dentro de un proyecto con impacto real en su propia institución educativa. La administración escolar, satisfecha con los resultados presentados, decide destinar recursos para ampliar el proyecto durante el año siguiente, incorporando paneles adicionales que un nuevo grupo de estudiantes tendrá la oportunidad de diseñar, construyendo así sobre el trabajo previo en lugar de comenzar cada año desde cero, dinámica institucional que refleja precisamente la generalización de aprendizajes examinada en la subsección 5.2.5 de este mismo capítulo.

Tabla 22

Elementos de análisis del caso de aprovechamiento de energía mediante prototipado

Elemento analizado	Método de medición	Hallazgo principal
Energía captada por el Sensor conectado durante panel	distintas horas del día	Variación notable según irradiación solar disponible
Energía consumida por el ventilador	Medición directa mediante multímetro	Consumo relativamente estable durante su uso
Eficiencia del sistema completo	Comparación entre energía captada y consumida	Suficiente para cubrir una fracción parcial del consumo

Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

5.5.4. Experiencia de simulación computacional de un fenómeno físico

Una estudiante, intrigada por el comportamiento oscilatorio de un puente peatonal cercano a su comunidad, decide construir una simulación sencilla que represente dicho comportamiento, aplicando las herramientas de programación examinadas en la sección 3.4 del tercer capítulo de esta obra para modelar el sistema mediante código propio. Antes de programar, la joven identifica cuidadosamente los supuestos simplificadores que incorporará a su modelo, siguiendo la disciplina examinada en la subsección 1.5.2 del primer capítulo de esta obra, y documenta explícitamente por qué considera razonable cada simplificación adoptada para su representación digital del fenómeno.

Tras ejecutar la simulación bajo distintos parámetros, la estudiante compara sus resultados con observaciones cualitativas del comportamiento real del puente, reconociendo abiertamente las diferencias encontradas entre el modelo simplificado y la complejidad del sistema físico completo que pretendía representar mediante su código desarrollado. Esta experiencia ejemplifica el valor formativo de construir simulaciones propias, examinado en la subsección 3.4.4 del tercer capítulo de esta obra, mostrando cómo la programación aplicada profundiza la comprensión física de un fenómeno que la sola observación cotidiana difícilmente habría revelado con semejante nivel de detalle.

La estudiante presenta finalmente su simulación acompañada de una reflexión escrita sobre las preguntas que su trabajo deja abiertas, tales como qué ocurriría si el puente enfrentara cargas de tránsito peatonal considerablemente mayores a las observadas, demostrando que un proyecto de investigación escolar bien concebido no necesariamente concluye con respuestas cerradas, sino que también puede formular con rigor nuevas preguntas dignas de futura

exploración por otros estudiantes interesados en el mismo fenómeno físico.

5.5.5. Caso interdisciplinario de diseño, construcción y validación de una solución para el entorno

Un equipo completo de estudiantes, tras identificar la escasez de sombra en un patio escolar utilizado durante el recreo, desarrolla un proyecto integral que recorre las cinco fases examinadas en el cuarto capítulo de esta obra: identificación de la necesidad, definición de requisitos, generación de alternativas, selección fundamentada y construcción de una estructura de sombra apropiada. La Figura 16 representa las etapas del caso interdisciplinario examinado en esta subsección, ilustrando cómo el equipo articuló cálculos de estabilidad estructural, selección de materiales según sus propiedades físicas, simulación digital previa a la construcción y pruebas experimentales del prototipo antes de su instalación definitiva en el patio.

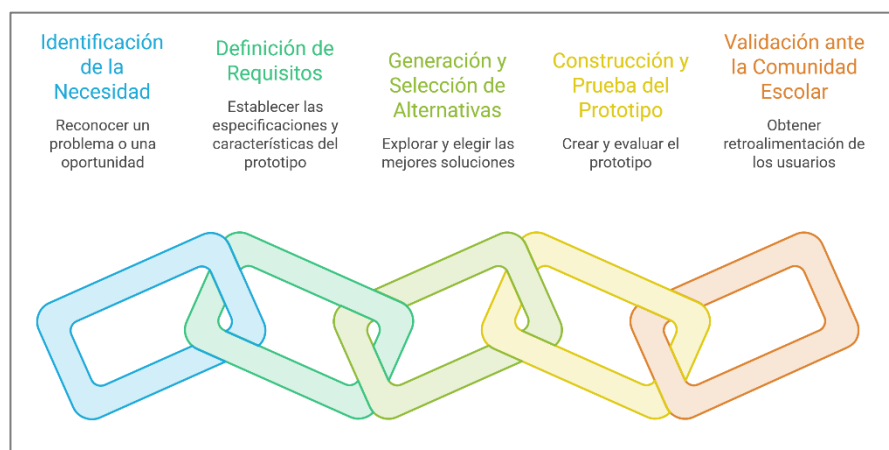
El equipo presenta finalmente su proyecto ante la comunidad escolar completa, empleando la comunicación rigurosa de hallazgos examinada en la subsección 2.5.5 del segundo capítulo de esta obra, reconociendo abiertamente tanto los logros alcanzados como las limitaciones que un proyecto posterior podría abordar con mayor profundidad y con recursos adicionales que este primer equipo no tuvo disponibles durante su propio trabajo desarrollado a lo largo del año escolar. Este caso final integra, de manera especialmente completa, los cinco capítulos que componen esta obra, demostrando que un desafío genuino del entorno escolar puede convertirse en el vehículo idóneo para movilizar de manera coherente saberes matemáticos, físicos, tecnológicos y de ingeniería dentro de un proyecto significativo y memorable para el estudiante.

Meses después de instalada la estructura, un nuevo grupo de estudiantes retoma el proyecto para evaluar su desempeño real bajo

condiciones climáticas variadas a lo largo de un año completo, cerrando así el ciclo de mejora continua examinado en la sección 5.3 de este capítulo y demostrando que un proyecto STEAM verdaderamente exitoso no concluye con la entrega final, sino que puede convertirse en punto de partida para investigaciones sucesivas emprendidas por generaciones posteriores de estudiantes de la misma institución. Con este cierre culmina la presente obra. El profesorado de bachillerato que ha recorrido estas páginas cuenta ahora con un marco conceptual completo, desde los fundamentos epistemológicos examinados en el primer capítulo hasta la evaluación de desempeños integrados examinada en estas últimas páginas, marco que esperamos contribuya efectivamente a fortalecer la enseñanza integrada de Matemáticas y Física bajo un enfoque STEAM genuino y sostenido en el tiempo.

Figura 16

Etapas del caso interdisciplinario: diseño, construcción y validación de una solución



Nota. Elaboración propia con base en la literatura citada en el capítulo correspondiente.

Este quinto y último capítulo ha cerrado la presente obra examinando cómo el razonamiento científico, la transferencia de saberes, los desempeños tecnológicos y de ingeniería, la evaluación integrada y los casos aplicados sintetizan, en la práctica, los fundamentos desarrollados a lo largo de los cinco capítulos que componen este libro. A lo largo de esta obra se ha sostenido de manera consistente un principio que se confirma con especial claridad en este cierre: que la enseñanza integrada de Matemáticas y Física bajo un enfoque STEAM alcanza su valor formativo pleno cuando articula rigor conceptual, experimentación genuina, herramientas digitales pertinentes y diseño de ingeniería orientado a necesidades reales, sin que ninguno de estos componentes se sacrifique en favor de los demás.

El profesorado de bachillerato y educación media que ha acompañado esta obra desde su primer capítulo, dedicado a las bases epistemológicas del conocimiento matemático y físico, hasta este capítulo final, dedicado a la síntesis del desempeño científico en escenarios STEAM completos, cuenta ahora con un marco conceptual y práctico integral que esperamos contribuya efectivamente a transformar la enseñanza de ciencias exactas en sus propios contextos institucionales. La propuesta central que atraviesa esta obra puede resumirse en una idea final: los estudiantes de bachillerato son capaces de un pensamiento científico genuino, riguroso y creativo cuando se les ofrece el acompañamiento pedagógico adecuado, y la responsabilidad del profesorado consiste precisamente en construir ese acompañamiento con la misma disciplina, honestidad y disposición hacia la mejora continua que esta obra ha propuesto como principio formativo central.

Con este cierre, esperamos que cada docente que ha llegado hasta esta última página encuentre en su propia aula el mismo entusiasmo por explorar, construir y comprender que hemos intentado

transmitir a lo largo de estas páginas, confiados en que la integración genuina de Matemáticas, Física, Tecnología, Ingeniería y Arte constituye, hoy más que nunca, una vía formativa capaz de preparar a los jóvenes de bachillerato para los desafíos científicos y técnicos que su generación habrá de enfrentar.

Referencias

- Aguilera, D. y Vílchez-González, J. M. (2024). ¿De qué hablamos cuando hablamos de educación STEAM? Una revisión de experiencias educativas. *Revista Fuentes*, 26(2), 211-224. <https://doi.org/10.12795/revistafuentes.2024.15412>
- Alegre Buj, M. S. y Cuetos Revuelta, M. J. (2021). Sensores y equipos de captación automática de datos en los trabajos prácticos de Física y Química de Secundaria y Bachillerato: el uso de Arduino. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1202. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1202
- Altaufay Rojas, C. P., Padilla Cabadiana, L. L., Rodríguez Granado, K. E., Vera Cedeño, K. M. y Guachamín Pancho, J. A. (2024). Metodologías activas basadas en la indagación guiada: Un enfoque para el desarrollo de habilidades científicas en ciencias naturales. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 8(5). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.14478
- Álvarez-Siordia, F. M., Merino-Soto, C., Rosas-Meléndez, S. A., Pérez-Díaz, M. y Chans, G. M. (2025). Simulators as an Innovative Strategy in the Teaching of Physics in Higher Education. *Education Sciences*, 15(2), 131. <https://doi.org/10.3390/educsci15020131>
- Atman, C. J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S. y Saleem, J. (2007). Engineering Design Processes: A Comparison of Students and Expert Practitioners. *Journal of Engineering Education*, 96(4), 359-379. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2007.tb00945.x>

- Ballesteros-Ballesteros, V. A. y Gallego-Torres, A. P. (2019). Modelo de educación en energías renovables desde el compromiso público y la actitud energética. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(52), 27-42. <https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n52.2019.9652>
- Barragán Mosso, G., Campo-Meneses, K. G. y García-García, J. (2024). Conexiones matemáticas asociadas a la ecuación lineal que establecen estudiantes de bachillerato. *Avances de Investigación en Educación Matemática*, (25). <https://doi.org/10.35763/aiem25.4616>
- Bautista Díaz, D. A., Suarez-Moreno, M. F. y Gómez-Amaya, J. (2020). Educación STEM en las actitudes de los estudiantes de secundaria hacia la ingeniería. *Revista Digital Educación en Ingeniería*, 15(29), 89-103. <https://doi.org/10.26507/rei.v15n29.1079>
- Bodur, N. C., Tuysuz, C. y Ugulu, I. (2026). Mejorando las habilidades de diseño en ingeniería de estudiantes superdotados de secundaria mediante una serie de módulos de ciencias enriquecidos. *Revista Andina de Educación*, 9(1), 6055. <https://doi.org/10.32719/26312816.6055>
- Bravo Sánchez, F. Á. y Forero Guzmán, A. (2012). La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales. *Education in the Knowledge Society*, 13(2), 120-136. <https://doi.org/10.14201/eks.9002>
- Cano U., J. A., Medina B., M. H. y Llamosa R., L. E. (2011). Metodología para la enseñanza de la estimación de la incertidumbre de medición en experimentos de física. *Scientia et Technica*, 3(49), 207-211. <https://doi.org/10.22517/23447214.1521>

- Díaz-Nunja, L., Rodríguez-Sosa, J. y Lingán, S. K. (2018). Enseñanza de la geometría con el software GeoGebra en estudiantes secundarios de una institución educativa en Lima. *Propósitos y Representaciones*, 6(2), 217-251. <https://doi.org/10.20511/pyr2018.v6n2.251>
- Domènech Casal, J. (2018). Concepciones de alumnado de secundaria sobre energía. Una experiencia de Aprendizaje Basado en Proyectos con globos aerostáticos. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 191-213. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2462>
- Ersozlu, Z., Swartz, M. y Skourdoumbis, A. (2023). Developing Computational Thinking through Mathematics: An Evaluative Scientific Mapping. *Education Sciences*, 13(4), 422. <https://doi.org/10.3390/educsci13040422>
- Espinoza Manzano, J. E., Martínez, R., Pachar Armijos, F. A. y Gavilánez García, M. M. (2025). Evaluación del uso del enfoque STEAM en el rendimiento académico en secundaria. *Sinergia Académica*, 8(5), 845-856. <https://doi.org/10.51736/sa689>
- Fernández, M. O. G., González, Y. A. F. y López, C. M. (2021). Panorama de la robótica educativa a favor del aprendizaje STEAM. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 230101-230123. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2301
- Fonseca, A. y Simbaña, V. (2022). Enfoque STEM y aprendizaje basado en proyectos para la enseñanza de la física en educación secundaria. *Revista Digital Novasinergia*. <https://doi.org/10.37135/ns.01.10.06>
- García, J. (2017). Python como primer lenguaje de programación textual en la Enseñanza Secundaria. *Education in the Knowledge*

Society, 18(2), 147-162.
<https://doi.org/10.14201/eks2017182147162>

Gómez Zaccarelli, F., Cándido Vendrasco, N. y Arriagada Jofré, V. (2024). Discusiones y argumentación en la enseñanza de las ciencias: prácticas y desafíos docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 25-43.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5958>

Greca, I. M., Ortiz-Revilla, J. y Arriasec, I. (2021). Diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje STEAM para Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1802.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1802

Jara Cango, J. A., Tocto Maldonado, J. S. y Vivanco Román, J. (2025). Modelación matemática como estrategia didáctica en el aprendizaje de ecuaciones lineales. *Ciencia y Educación*, 6(9).
<https://doi.org/10.5281/zenodo.17168434>

Juárez Lucas, P. y García Camacho, A. K. (2026). Visualización matemática y aprendizaje significativo en la enseñanza de ecuaciones lineales, cuadráticas y sistemas de ecuaciones en secundaria. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 7(3), 1999-2019.
<https://doi.org/10.56712/latam.v7i3.6079>

Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D. y Duschl, R. A. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. *Journal for STEM Education Research*, 2(2), 93-104. <https://doi.org/10.1007/s41979-019-00020-z>

Mancera Ortiz, G. y Camelo Bustos, F. J. (2020). Un panorama de la modelación matemática en los encuentros colombianos de

matemática educativa entre 2012-2015. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 15(2).
<https://doi.org/10.14483/23464712.14350>

Marañón Marañón, Ó. y González-García, H. (2021). Una revisión narrativa sobre el pensamiento computacional en Educación Secundaria Obligatoria. *Contextos Educativos*, (27), 169-182.
<https://doi.org/10.18172/con.4644>

Marques, D., Neto, T. B., Guerra, C., Viseu, F., Aires, A. P., Mota, M. y Ravara, A. (2023). A STEAM Experience in the Mathematics Classroom: The Role of a Science Cartoon. *Education Sciences*, 13(4), Article 392. <https://doi.org/10.3390/educsci13040392>

Martínez-Suárez, D. G. (2022). Pensamiento científico en la educación secundaria: acercamiento al estado de la cuestión. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(27), e2150.
<https://doi.org/10.22430/21457778.2150>

Mendoza, A. J., Guadamud, J. D., Mendoza, E. J., Díaz, F. J. y Vera, M. J. (2023). Transferencia del conocimiento con un enfoque educativo STEAM. *Ciencia Latina*, 7(5), 10591-10605.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8681

Moya-Muñoz, L. D., Lopez-Velez, C. R., Pérez-Marquin, J. M. y Cedeño-León, M. M. (2025). La retroalimentación formativa como estrategia para mejorar el desempeño en el aula. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 155-170.
<https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/118>

Navarrete-Artime, C. y Belver Domínguez, J. L. (2022). Evaluar con rúbricas. Una propuesta exitosa dentro del ABP. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 15(1), 101-117.
<https://doi.org/10.15366/riee2022.15.1.006>

- Obando-Montoya, J. D., Valencia-Cardenas, M., Romero-Díaz, C. H. y Reyes-Alvarado, S. (2024). Categorías y prácticas implicadas con el pensamiento computacional para la mejora de las habilidades en la resolución de problemas matemáticos en secundaria. *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 12(2), 173-181. <https://doi.org/10.15649/2346030X.4408>
- Ortega-Ruiz, M. A. y Villalobos, J. A. (2024). La indagación científica en el aula de física: Desafíos curriculares en América Latina. *Educación y Ciencia*, 28(3), 112-128. <https://doi.org/10.19053/0120-7105.eyc.2024.28.3.16430>
- Pérez Torres, M., Couso Lagarón, D. y Marquez Bargalló, C. (2023). Evaluation of STEAM Project-Based Learning (STEAM PBL) Instructional Designs from the STEM Practices Perspective. *Education Sciences*, 14(1), 53. <https://doi.org/10.3390/educsci14010053>
- Pérez, D., Román, M. y González, E. (2023). El pensamiento algorítmico como estrategia didáctica para el desarrollo de habilidades de resolución de problemas en el contexto de la educación básica secundaria. *Revista de Educación a Distancia*, 23(73). <https://doi.org/10.6018/red.542111>
- Pols, C. F. J., Dekkers, P. J. J. M. y de Vries, M. J. (2021). What do they know? Investigating students' ability to analyse experimental data in secondary physics education. *International Journal of Science Education*, 43(2), 274-297. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1865588>
- Revel Chion, A., Diaz Guevara, C. y Aduriz-Bravo, A. (2021). Argumentación científica escolar y su contribución al aprendizaje del tema «salud y enfermedad». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3101.

https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3101

- Rodríguez-Medina, J., Hinojo-Lucena, F. J. y Agreda-Montoro, M. (2023). Dificultades de aprendizaje en la representación gráfica de la cinemática: Un estudio de caso en educación secundaria. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 67, 175-201. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.97520>
- Santillán Jiménez, J. L. (2024). Aplicación del método 5E para desarrollar competencias de ciencia y tecnología en estudiantes de secundaria. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, 4(1), 570-590. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i1.107>
- Sepúlveda Obreque, A., Quintana Püschel, M. y Villalobos Clavería, A. (2023). Transferencia del aprendizaje en actividades de textos escolares de séptimo y octavo grados de Ciencias Naturales. *Diálogos sobre Educación*, 14(27). <https://doi.org/10.32870/dse.v0i27.1300>
- Testa, I. y Catena, D. (2022). Secondary Students' Transitions between Different Representations of Linear Relations in Mathematics and Physics. *Education Sciences*, 12(11), 776. <https://doi.org/10.3390/educsci12110776>



El libro Matemáticas y Física Integradas desde el Enfoque STEAM aborda la integración de los conocimientos matemáticos y físicos como base para el desarrollo de competencias científicas, tecnológicas y de ingeniería. La obra propone una enseñanza interdisciplinaria que vincula conceptos, procedimientos y aplicaciones prácticas con situaciones reales, permitiendo que los estudiantes comprendan la relación existente entre las matemáticas y la física en la interpretación de fenómenos, la resolución de problemas y el diseño de soluciones. Desde esta perspectiva, el enfoque STEAM favorece un aprendizaje activo en el que el conocimiento se construye mediante la exploración, la experimentación y la aplicación.

A lo largo del texto se presentan estrategias orientadas al fortalecimiento del razonamiento matemático y científico mediante actividades relacionadas con la medición, el análisis de variables, la representación de datos, la formulación de modelos y la interpretación de fenómenos físicos. La integración de herramientas tecnológicas y principios de ingeniería permite ampliar las posibilidades de aprendizaje, promoviendo procesos de diseño, construcción, evaluación y mejora de propuestas. Estas experiencias buscan que los estudiantes no solo comprendan conceptos abstractos, sino que puedan utilizarlos para analizar situaciones concretas y plantear respuestas fundamentadas.

Finalmente, la obra destaca la importancia de desarrollar competencias que permitan a los estudiantes enfrentar problemas complejos mediante el pensamiento crítico, la creatividad, la colaboración y la capacidad de tomar decisiones basadas en evidencias. El enfoque STEAM se presenta como una alternativa para conectar el aprendizaje de las matemáticas y la física con la tecnología y la ingeniería, favoreciendo experiencias educativas significativas y orientadas a la innovación. En conjunto, el libro constituye una propuesta pedagógica para fortalecer la formación científica y tecnológica, convirtiendo el aprendizaje interdisciplinario en una herramienta para comprender el entorno y diseñar soluciones a desafíos del mundo real.

