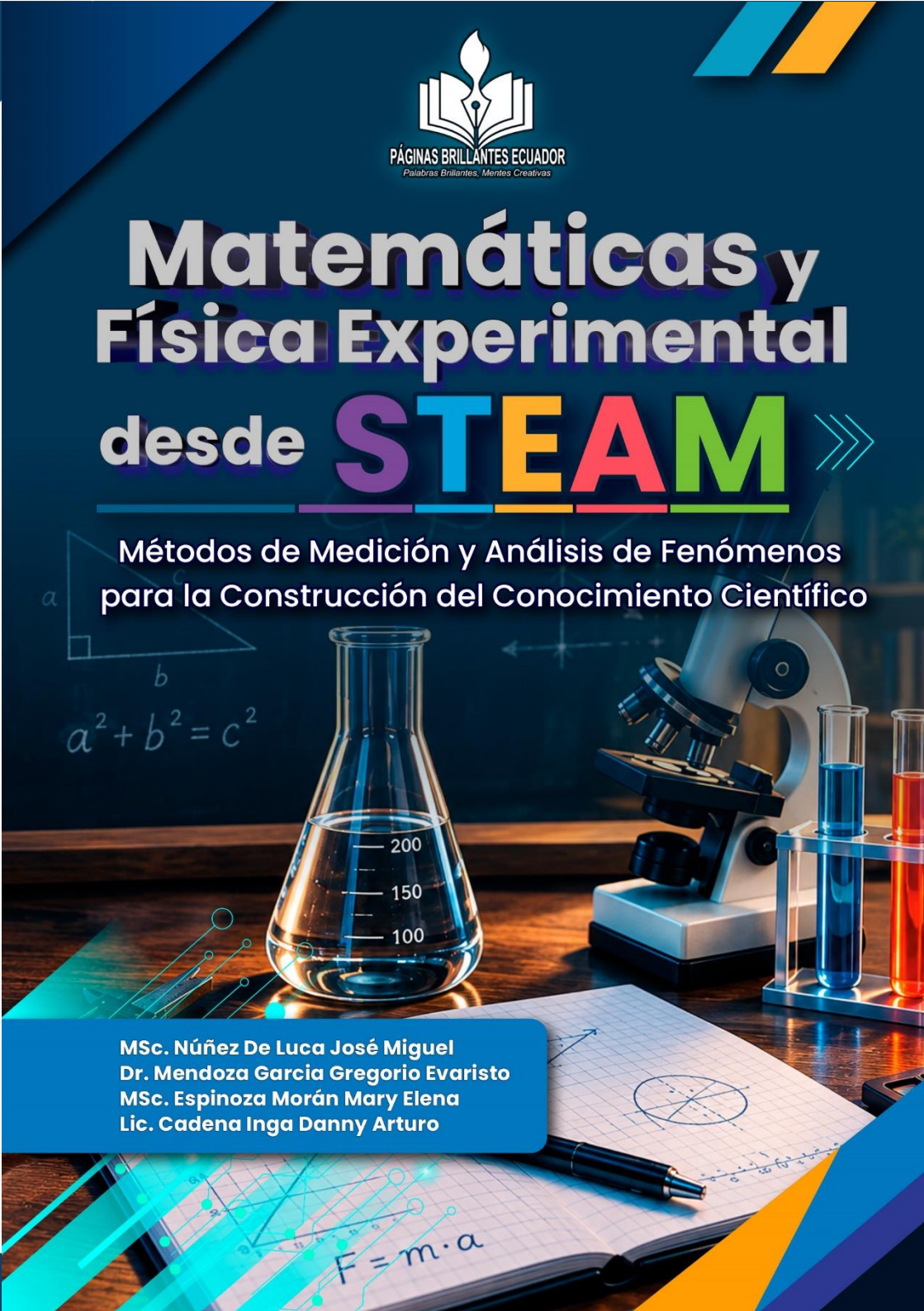


Matemáticas y Física Experimental desde STEAM >>

Métodos de Medición y Análisis de Fenómenos para la Construcción del Conocimiento Científico

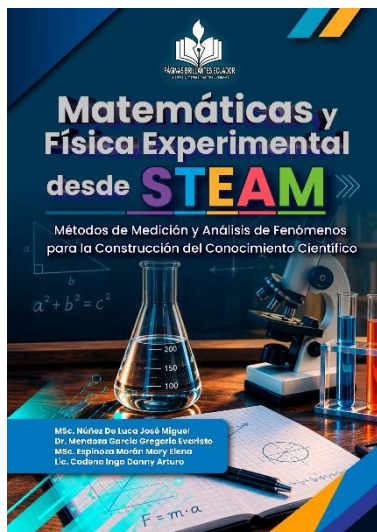


MSc. Núñez De Luca José Miguel
Dr. Mendoza García Gregorio Evaristo
MSc. Espinoza Morán Mary Elena
Lic. Cadena Inga Danny Arturo



Matemáticas y Física Experimental desde STEAM:

Métodos de Medición y Análisis de Fenómenos para la
Construcción del Conocimiento Científico



Datos bibliográficos:

ISBN:	978-9942-575-62-3
Título del libro:	Matemáticas y Física Experimental desde STEAM: Métodos de Medición y Análisis de Fenómenos para la Construcción del Conocimiento Científico
Autores:	Núñez De Luca, José Miguel Mendoza García, Gregorio Evaristo Espinoza Morán, Mary Elena Cadena Inga, Danny Arturo
Editorial:	Paginas Brillantes Ecuador
Materia:	Educación
Público objetivo:	Profesional / académico
Publicado:	2026-09-14
Número de edición:	1
Tamaño:	9Mb
Soporte:	Digital
Formato:	Pdf (.pdf)
Idioma:	Español

Datos autores:

MSc. Núñez De Luca José Miguel

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6951-8342>

Magíster en Innovación en Educación.

Unidad Educativa Dr. Alfredo Pareja Diezcanseco

Correo: miguel.nunez@docentes.educacion.edu.ec

Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchilas, Santo Domingo.

Dr. Mendoza García Gregorio Evaristo

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8216-4229>

Diploma Superior por Competencia.

Universidad Técnica de Manabí y Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Docente de Física

Correo: gregorio.mendoza@uleam.edu.ec

Ecuador, Manabí, Manta.

MSc. Espinoza Morán Mary Elena

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5228-3702>

Magíster en Ciencias de la Educación, Aprendizaje de la Matemática.

Unidad Educativa Combatientes de Tapi

Correo: maryvalesofy@gmail.com

Ecuador, Chimborazo, Riobamba.

Lic. Cadena Inga Danny Arturo

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6073-7471>

Licenciado en Pedagogía de las Matemáticas y la Física.

Investigador Independiente

Correo: daniyank@hotmail.es

Ecuador, Pichincha, Quito.



Aviso Legal y Derechos de Autor

© 2026. Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-9942-575-62-3

Obra registrada con Certificado N° QUI- 073175, 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.

Contenido

Índice de tablas	XI
Índice de figuras	XIII
1.1. La experimentación como vía para construir conocimiento científico -	2 -
1.1.1. Observación y formulación de preguntas sobre fenómenos	2 -
1.1.2. Del planteamiento inicial a la comprobación experimental	4 -
1.1.3. Evidencia empírica y razonamiento científico	5 -
1.1.4. Relación entre teoría, experiencia y explicación	7 -
1.1.5. Alcances y límites de los resultados experimentales	9 -
1.2. Pensamiento matemático en el estudio experimental	10 -
1.2.1. Magnitudes y relaciones cuantitativas	10 -
1.2.2. Variables dependientes, independientes y de control	11 -
1.2.3. Proporcionalidad y variación entre cantidades	13 -
1.2.4. Representaciones numéricas y gráficas	14 -
1.2.5. Interpretación matemática de resultados observables	16 -
1.3. Principios físicos para la exploración de fenómenos	18 -
1.3.1. Identificación de propiedades y comportamientos físicos	18 -
1.3.2. Interacciones, cambios y estados de los sistemas	19 -
1.3.3. Condiciones iniciales y evolución de un fenómeno	20 -
1.3.4. Regularidades físicas observables mediante experimentos ..	22 -
1.3.5. Explicación causal a partir de evidencias	23 -
1.4. Enfoque STEAM aplicado al trabajo experimental	24 -
1.4.1. Aportes de las ciencias al planteamiento de problemas	24 -
1.4.2. Uso de recursos tecnológicos para observar y registrar	26 -
1.4.3. Diseño y construcción de soluciones desde la ingeniería	27 -
1.4.4. Representación visual y comunicación de hallazgos	28 -
1.4.5. Articulación matemática en experiencias STEAM	29 -
1.5. Diseño de experiencias para investigar fenómenos	31 -

1.5.1. Delimitación del objeto de estudio	31 -
1.5.2. Formulación de hipótesis susceptibles de comprobación.....	32 -
1.5.3. Selección de variables y condiciones experimentales	34 -
1.5.4. Organización de procedimientos y secuencias de trabajo	35 -
1.5.5. Criterios para obtener evidencias confiables	36 -
2.1. Magnitudes, unidades y sistemas de medida	39 -
2.1.1. Magnitudes fundamentales y derivadas	39 -
2.1.2. Sistema Internacional de Unidades	41 -
2.1.3. Conversión y equivalencia entre unidades	42 -
2.1.4. Escalas y órdenes de magnitud	44 -
2.1.5. Notación científica en el registro de mediciones	45 -
2.2. Instrumentos y procedimientos de medición	47 -
2.2.1. Selección del instrumento según la magnitud estudiada.....	47 -
2.2.2. Resolución, sensibilidad y rango instrumental	49 -
2.2.3. Calibración y verificación de equipos	50 -
2.2.4. Lectura y registro sistemático de valores	52 -
2.2.5. Tecnologías digitales para la captura de datos	53 -
2.3. Precisión, exactitud e incertidumbre.....	54 -
2.3.1. Diferencias entre precisión y exactitud	55 -
2.3.2. Fuentes de incertidumbre en una medición.....	56 -
2.3.3. Errores aleatorios y sistemáticos.....	57 -
2.3.4. Cifras significativas y expresión de resultados	59 -
2.3.5. Propagación de incertidumbres en operaciones matemáticas.-	60 -
2.4. Organización de datos procedentes de experimentos	62 -
2.4.1. Tabulación de observaciones y mediciones.....	63 -
2.4.2. Clasificación de datos según su naturaleza	64 -
2.4.3. Construcción de series experimentales	65 -
2.4.4. Representaciones gráficas de variables	66 -
2.4.5. Identificación preliminar de tendencias y anomalías	68 -

2.5. Calidad y confiabilidad de la información obtenida	- 69 -
2.5.1. Repetibilidad de las mediciones	- 70 -
2.5.2. Reproducibilidad bajo distintas condiciones.....	- 71 -
2.5.3. Detección y tratamiento de valores atípicos.....	- 72 -
2.5.4. Comparación entre resultados observados y valores de referencia	- 73 -
2.5.5. Criterios para valorar la consistencia de los datos	- 74 -
3.1. Tratamiento cuantitativo de datos	- 77 -
3.1.1. Medidas de tendencia central en resultados experimentales	- 77 -
3.1.2. Dispersión y variabilidad de las observaciones.....	- 79 -
3.1.3. Distribución de datos y frecuencia	- 81 -
3.1.4. Comparación cuantitativa entre conjuntos de mediciones	- 82 -
3.1.5. Lectura crítica de resultados numéricos	- 83 -
3.2. Representación gráfica del comportamiento físico	- 84 -
3.2.1. Selección de variables para la construcción de gráficos.....	- 84 -
3.2.2. Escalas lineales y no lineales	- 85 -
3.2.3. Pendiente e interpretación de tasas de cambio	- 87 -
3.2.4. Interpolación y estimación entre valores conocidos.....	- 88 -
3.2.5. Reconocimiento de patrones mediante representaciones visuales.....	- 90 -
3.3. Relaciones funcionales entre variables	- 91 -
3.3.1. Dependencia lineal entre magnitudes	- 92 -
3.3.2. Comportamientos cuadráticos y polinómicos	- 93 -
3.3.3. Relaciones exponenciales presentes en sistemas físicos	- 95 -
3.3.4. Funciones periódicas y fenómenos oscilatorios	- 96 -
3.3.5. Selección de expresiones matemáticas según los datos	- 98 -
3.4. Ajuste de datos y estimación de parámetros	- 99 -
3.4.1. Construcción de líneas de tendencia	- 99 -
3.4.2. Ajuste lineal por mínimos cuadrados	- 100 -
3.4.3. Estimación de parámetros físicos.....	- 102 -

3.4.4. Análisis de residuos y diferencias observadas	104 -
3.4.5. Valoración del ajuste entre predicción y experimento	105 -
3.5. Modelización matemática a partir de evidencias	106 -
3.5.1. Traducción de observaciones a relaciones matemáticas	107 -
3.5.2. Formulación de modelos empíricos	108 -
3.5.3. Contraste entre predicciones y mediciones	109 -
3.5.4. Revisión del modelo ante nuevas evidencias	111 -
3.5.5. Capacidad explicativa y predictiva de una representación matemática	112 -
4.1. Sensores y sistemas digitales de medición	115 -
4.1.1. Sensores de movimiento, temperatura, luz y fuerza	115 -
4.1.2. Captura automática de magnitudes físicas	117 -
4.1.3. Frecuencia de muestreo y resolución temporal	119 -
4.1.4. Integración de dispositivos en actividades experimentales	120 -
4.1.5. Ventajas y limitaciones de la instrumentación digital	121 -
4.2. Herramientas computacionales para procesar información	122 -
4.2.1. Hojas de cálculo en la organización de mediciones	122 -
4.2.2. Automatización de operaciones matemáticas	124 -
4.2.3. Generación e interpretación de gráficos digitales	125 -
4.2.4. Comparación de conjuntos extensos de datos	126 -
4.2.5. Elaboración de informes a partir de resultados procesados	128 -
4.3. Simulación de fenómenos físicos	129 -
4.3.1. Simulación como complemento de la experimentación	129 -
4.3.2. Modificación controlada de parámetros	130 -
4.3.3. Comparación entre comportamiento simulado y observado	131 -
4.3.4. Exploración de situaciones difíciles de reproducir	133 -
4.3.5. Límites de las simulaciones en la explicación científica	134 -
4.4. Construcción y prototipado para comprobar principios	135 -
4.4.1. Diseño de dispositivos experimentales sencillos	136 -

4.4.2. Selección de materiales según propiedades físicas	137 -
4.4.3. Construcción de prototipos funcionales	138 -
4.4.4. Pruebas, modificaciones y optimización	139 -
4.4.5. Evaluación cuantitativa del funcionamiento obtenido	140 -
4.5. Integración tecnológica en proyectos experimentales STEAM	142 -
4.5.1. Definición de problemas susceptibles de exploración	142 -
4.5.2. Selección combinada de instrumentos y herramientas digitales ..	143 -
4.5.3. Obtención de evidencias mediante experiencias prácticas ..	145 -
4.5.4. Análisis interdisciplinario de los hallazgos	146 -
4.5.5. Comunicación científica mediante recursos visuales y digitales ..	147 -
5.1. Estudio del movimiento mediante medición y análisis	150 -
5.1.1. Registro experimental de posición y tiempo	150 -
5.1.2. Determinación de velocidad a partir de datos	151 -
5.1.3. Interpretación de aceleración mediante representaciones gráficas	152 -
5.1.4. Contraste entre comportamiento observado y predicción matemática	154 -
5.1.5. Elaboración de explicaciones fundamentadas en evidencias ..	155 -
5.2. Exploración de energía, trabajo y transformaciones	156 -
5.2.1. Identificación de formas de energía en sistemas experimentales ..	157 -
5.2.2. Medición de variables asociadas con trabajo y potencia	158 -
5.2.3. Balance energético a partir de resultados cuantitativos	159 -
5.2.4. Análisis de pérdidas y eficiencia	160 -
5.2.5. Interpretación de transformaciones energéticas	161 -
5.3. Análisis experimental de fenómenos térmicos	162 -
5.3.1. Registro de cambios de temperatura	162 -
5.3.2. Construcción e interpretación de curvas térmicas	163 -

5.3.3. Comparación del comportamiento de distintos materiales .	- 165 -
5.3.4. Estudio de procesos de transferencia de calor	- 166 -
5.3.5. Formulación de conclusiones a partir de datos térmicos	- 167 -
5.4. Ondas, sonido y fenómenos periódicos	- 168 -
5.4.1. Medición de frecuencia, período y amplitud	- 169 -
5.4.2. Representación matemática de oscilaciones	- 170 -
5.4.3. Obtención experimental de relaciones entre magnitudes	- 171 -
5.4.4. Uso de tecnologías digitales para estudiar señales.....	- 172 -
5.4.5. Interpretación de patrones ondulatorios.....	- 173 -
5.5. Experiencias STEAM para investigar situaciones del entorno.....	- 174 -
5.5.1. Análisis del movimiento mediante sensores de dispositivos móviles	- 174 -
5.5.2. Evaluación experimental de la eficiencia térmica de materiales...-	175 -
5.5.3. Estudio de iluminación y consumo energético en espacios educativos.....	- 176 -
5.5.4. Construcción y prueba de un prototipo basado en principios físicos.....	- 177 -
5.5.5. Presentación de evidencias y argumentación de conclusiones científicas.....	- 178 -
Referencias	- 181 -

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de variables según su función en una experiencia experimental	- 13 -
Tabla 2. Condiciones iniciales y variables observables en diferentes sistemas físicos.....	- 21 -
Tabla 3. Recursos tecnológicos aplicables a la observación y registro de fenómenos	- 27 -
Tabla 4. Magnitudes fundamentales y derivadas utilizadas en experimentación física	- 41 -
Tabla 5. Equivalencias y conversiones entre unidades de uso frecuente	- 44 -
Tabla 6. Selección de instrumentos según la magnitud y el rango de medición	- 48 -
Tabla 7. Diferencias entre precisión y exactitud en resultados experimentales	- 56 -
Tabla 8. Propagación de incertidumbres en operaciones matemáticas básicas	- 62 -
Tabla 9. Organización estructurada de observaciones y mediciones experimentales	- 64 -
Tabla 10. Comparación entre valores experimentales y valores de referencia	- 74 -
Tabla 11. Medidas de tendencia central aplicadas a resultados experimentales	- 78 -
Tabla 12. Indicadores de dispersión para evaluar la variabilidad de las mediciones.....	- 80 -
Tabla 13. Comportamientos funcionales asociados con diferentes fenómenos físicos	- 94 -
Tabla 14. Procedimiento matemático para el ajuste lineal por mínimos cuadrados	- 102 -
Tabla 15. Contraste entre predicciones matemáticas y mediciones experimentales	- 110 -

Tabla 16. Sensores digitales según la magnitud física registrada	- 116 -
Tabla 17. Tipos de gráficos digitales y su utilidad en el análisis experimental.....	- 126 -
Tabla 18. Registro de pruebas y modificaciones durante la optimización de prototipos.....	- 140 -
Tabla 19. Integración de instrumentos y herramientas digitales según el propósito experimental	- 144 -
Tabla 20. Síntesis de evidencias, resultados y conclusiones de experiencias STEAM.....	- 180 -

Índice de figuras

Figura 1. De la evidencia empírica a la construcción de explicaciones científicas	- 7 -
Figura 2. Formas de representación de relaciones entre magnitudes experimentales	- 16 -
Figura 3. Secuencia para formular y comprobar una hipótesis experimental.....	- 33 -
Figura 4. Resolución, sensibilidad y rango en instrumentos de medición	- 50 -
Figura 5. Comportamiento de errores aleatorios y sistemáticos en una serie de mediciones	- 59 -
Figura 6. Identificación visual de tendencias y anomalías en datos experimentales	- 69 -
Figura 7. Interpretación física de la pendiente y las tasas de cambio	- 88 -
Figura 8. Reconocimiento de patrones a partir de representaciones gráficas	- 91 -
Figura 9. Representación matemática de fenómenos periódicos y oscilatorios	- 97 -
Figura 10. Distribución de residuos en el análisis del ajuste experimental.....	- 105 -
Figura 11. Flujo de captura automática de datos mediante sensores	- 118 -
Figura 12. Comparación entre comportamiento simulado y respuesta experimental.....	- 133 -
Figura 13. Interpretación gráfica de posición, velocidad y aceleración	- 153 -
Figura 14. Curvas térmicas obtenidas durante procesos de calentamiento y enfriamiento.....	- 164 -

Introducción

La experimentación ocupa un lugar central dentro de esta relación. Medir una magnitud, registrar datos o comparar resultados no son actividades aisladas, sino componentes de un proceso sistemático mediante el cual el estudiante aprende a construir conocimiento a partir de la evidencia. Cada experiencia experimental permite contrastar supuestos, reconocer variaciones, evaluar la precisión de las mediciones y comprender que los resultados científicos se encuentran sujetos a condiciones específicas. De esta manera, el aprendizaje adquiere un carácter investigativo en el que los conceptos matemáticos y físicos dejan de presentarse únicamente como contenidos abstractos y comienzan a utilizarse como herramientas para interpretar fenómenos reales.

En este escenario, el enfoque STEAM ofrece posibilidades para ampliar la enseñanza experimental mediante la integración de ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas. Su valor educativo radica en favorecer conexiones entre conocimientos que tradicionalmente pueden abordarse de manera separada y orientarlos hacia la exploración, el diseño y la resolución de problemas. La incorporación de recursos tecnológicos, sensores, herramientas digitales, simulaciones y procedimientos de análisis permite enriquecer la observación de los fenómenos y generar nuevas oportunidades para representar, comparar e interpretar la información obtenida durante las experiencias científicas.

El presente libro, *Matemáticas y Física Experimental desde STEAM: Métodos de Medición y Análisis de Fenómenos para la Construcción del Conocimiento Científico*, surge con el propósito de integrar el razonamiento matemático, la comprensión física y la experimentación dentro de una propuesta formativa orientada al desarrollo de



competencias científicas. La obra busca fortalecer la capacidad para estudiar fenómenos mediante procedimientos de medición y análisis, estableciendo relaciones entre modelos teóricos, datos experimentales y situaciones concretas. Desde esta perspectiva, la construcción del conocimiento científico se entiende como un proceso activo que combina observación, experimentación, representación matemática, interpretación y argumentación.

A lo largo de sus capítulos se desarrollan fundamentos de matemáticas y física necesarios para comprender diferentes fenómenos, así como métodos de medición que permiten obtener información cuantitativa de manera organizada. Posteriormente, se profundiza en la investigación experimental y en el análisis de los datos obtenidos, considerando aspectos como la precisión, la incertidumbre, la representación gráfica y la interpretación de resultados. La obra también incorpora la simulación, la programación y los recursos digitales como herramientas para ampliar las posibilidades de exploración científica, además de abordar aplicaciones de las matemáticas y la física vinculadas con el diseño y la ingeniería desde una perspectiva STEAM.

Uno de los aspectos esenciales de esta propuesta consiste en reconocer que medir no significa únicamente asignar un valor numérico a una magnitud. Toda medición implica seleccionar instrumentos adecuados, establecer procedimientos, considerar posibles fuentes de variación y valorar la confiabilidad de los resultados. De igual manera, analizar un fenómeno supone identificar patrones, establecer relaciones entre variables y determinar hasta qué punto la evidencia obtenida permite sustentar una explicación. Estas prácticas contribuyen al desarrollo del pensamiento crítico y permiten comprender la ciencia como una construcción fundamentada en



procedimientos verificables y en la revisión permanente de las interpretaciones.

La integración entre experimentación y herramientas digitales adquiere también una importancia creciente. Las tecnologías actuales permiten registrar información con mayor facilidad, visualizar comportamientos difíciles de observar directamente y desarrollar simulaciones que complementan el trabajo experimental. Sin embargo, estos recursos alcanzan verdadero sentido educativo cuando están acompañados por preguntas relevantes y por una interpretación razonada de los resultados. La tecnología no sustituye la comprensión del fenómeno ni el criterio científico; actúa como un medio que amplía las posibilidades de observar, representar y analizar la realidad.

En definitiva, esta obra propone aprender matemáticas y física mediante una relación constante entre teoría, medición, experimentación y aplicación. El enfoque STEAM permite situar estos conocimientos dentro de experiencias donde investigar, diseñar, analizar y resolver problemas forman parte de un mismo proceso de aprendizaje. Así, el libro aspira a contribuir a una formación científica en la que el estudiante no se limite a reproducir procedimientos establecidos, sino que desarrolle la capacidad de observar con rigurosidad, trabajar con evidencias, interpretar resultados y utilizar los saberes matemáticos y físicos para comprender fenómenos y construir conocimiento científico de manera fundamentada.



CAPÍTULO 1

**Fundamentos de la Experimentación en
Matemáticas y Física desde STEAM**



Capítulo 1. Fundamentos de la Experimentación en Matemáticas y Física desde STEAM

1.1. La experimentación como vía para construir conocimiento científico

La construcción del conocimiento científico se apoya en un recorrido que parte de la observación cuidadosa de un fenómeno y avanza, a través de la pregunta y la comprobación empírica, hacia explicaciones fundamentadas en evidencia. Esta sección examina ese recorrido completo, reconociendo en cada etapa los alcances y los límites que el propio proceso experimental impone. Gil y Rodríguez (2001) sitúan este trayecto como la columna vertebral de cualquier trabajo de física experimental, mientras que Perales y Aróstegui (2021) destacan que el enfoque STEAM aporta una mirada interdisciplinaria que enriquece la manera en que dicho trayecto se plantea y se interpreta en el aula.

1.1.1. Observación y formulación de preguntas sobre fenómenos

La construcción del conocimiento científico se inicia, de manera recurrente, en un acto que parece sencillo pero que exige disciplina intelectual: observar un fenómeno con atención sostenida. Gil y Rodríguez (2001) señalan que la física experimental se sostiene sobre la capacidad de registrar de forma sistemática lo que ocurre en un sistema antes de intentar explicarlo, evitando que las interpretaciones previas condicionen lo que se percibe. Esta observación disciplinada no equivale a una mirada pasiva, sino a un ejercicio activo de selección de aquello que resulta relevante para el problema que se investiga.

A partir de esa observación surge la pregunta, elemento que orienta cualquier proceso experimental posterior. Ros et al. (2026), al proponer el marco STEAM-5E, sitúan la fase de involucramiento inicial como el momento en que el estudiante convierte una curiosidad difusa en un

interrogante susceptible de ser trabajado con herramientas matemáticas y físicas. Sin esa conversión, el fenómeno permanece como una experiencia anecdótica y no llega a integrarse en un proceso de indagación estructurado.

En el contexto STEAM, la formulación de preguntas adquiere un valor adicional porque conecta disciplinas distintas alrededor de un mismo objeto de estudio. Perales y Aróstegui (2021) sostienen que la fortaleza de este enfoque reside en permitir que una misma pregunta se aborde simultáneamente desde la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, de modo que la experimentación no queda restringida a un único campo disciplinar sino que se convierte en un espacio de convergencia metodológica.

Esta distinción entre mirar y observar resulta particularmente relevante en el trabajo STEAM con adolescentes, donde la abundancia de estímulos visuales y tecnológicos puede generar la ilusión de estar observando con rigor cuando en realidad se está registrando información de manera dispersa. Marín-Marín et al. (2021) documentan que los proyectos STEAM más consistentes son aquellos que dedican una fase explícita a entrenar la observación antes de introducir instrumentos de medición, de modo que el estudiante aprenda primero a reconocer qué aspectos del fenómeno ameritan seguimiento sistemático. Solo después de ese entrenamiento previo resulta razonable incorporar sensores o dispositivos digitales, pues de lo contrario la tecnología reemplaza la observación en lugar de perfeccionarla.

Formular preguntas investigables constituye, además, una habilidad que se perfecciona con la práctica reiterada, por lo que su enseñanza no puede limitarse a una única actividad introductoria sino que debe retomarse a lo largo de distintos momentos del trabajo STEAM, permitiendo que los estudiantes reconozcan progresivamente qué características distinguen una pregunta productiva de una que resulta

demasiado amplia o demasiado vaga para orientar un proceso experimental. Esta base observacional, cuando se construye con cuidado desde el inicio del proceso, condiciona positivamente la calidad de todas las etapas experimentales que se desarrollarán posteriormente en el capítulo.

1.1.2. Del planteamiento inicial a la comprobación experimental

Entre la pregunta inicial y la comprobación experimental media un trayecto que requiere precisión conceptual. Martín-Cudero (2024) advierte que buena parte de las dificultades observadas en la enseñanza de las matemáticas asociadas a proyectos STEAM proviene de saltar directamente de la curiosidad a la manipulación de materiales, sin dedicar tiempo suficiente a traducir el planteamiento inicial en términos que permitan un tratamiento cuantitativo posterior. Ros et al. (2026) describen este tránsito como un proceso iterativo, en el que la exploración preliminar de un fenómeno permite refinar progresivamente la pregunta hasta que resulta operativa, es decir, hasta que admite una estrategia de comprobación con variables identificables y condiciones controlables. Esta iteración no debe entenderse como un desvío respecto del método, sino como parte constitutiva de él.

Gil y Rodríguez (2001) aportan un criterio práctico para reconocer cuándo un planteamiento está listo para la etapa experimental: cuando es posible anticipar qué tipo de dato se necesita recoger y con qué instrumento, aun antes de ejecutar la primera medición. Este criterio evita que la experimentación se convierta en una acumulación de observaciones sin propósito definido, y ubica la comprobación como una consecuencia lógica del planteamiento inicial y no como un paso aislado.

El tránsito descrito exige, además, que quien investiga tolere la incertidumbre propia de una fase exploratoria en la que todavía no

existe certeza sobre qué variables serán finalmente relevantes. Ros et al. (2026) sostienen que esta tolerancia forma parte del desarrollo del pensamiento científico dentro del marco STEAM-5E, en la medida en que evita que los estudiantes abandonen prematuramente un planteamiento prometedor solo porque su primera formulación resultó imprecisa. La revisión sucesiva del planteamiento, lejos de señalar debilidad metodológica, constituye evidencia de un proceso de indagación genuino que se ajusta progresivamente a la naturaleza del fenómeno estudiado.

Cuando este tránsito se documenta de manera explícita, ya sea mediante un cuaderno de trabajo o un registro compartido, resulta posible revisar posteriormente las decisiones que llevaron del planteamiento inicial a la versión finalmente sometida a comprobación, ejercicio de metacognición que Ros et al. (2026) consideran especialmente valioso para consolidar el aprendizaje del proceso investigativo en su conjunto. El acompañamiento docente durante esta fase de ajuste resulta determinante para que los estudiantes no confundan la revisión legítima del planteamiento con una falta de rigor metodológico.

1.1.3. Evidencia empírica y razonamiento científico

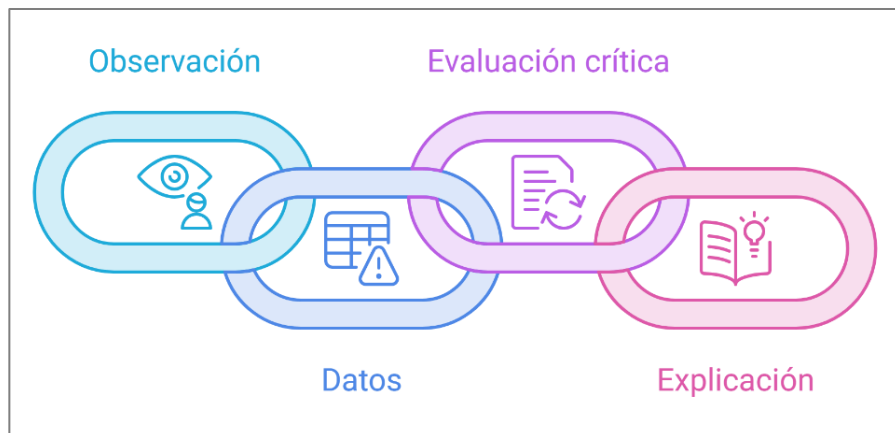
La evidencia empírica constituye el material con el que se construyen o se descartan explicaciones científicas, pero su valor depende de la manera en que ha sido obtenida y registrada. Gil y Rodríguez (2001) insisten en que ningún dato experimental debe presentarse sin la incertidumbre asociada, pues es precisamente ese margen el que permite distinguir una diferencia real entre magnitudes de una variación atribuible al propio proceso de medición. Cano et al. (2011) profundizan en esta idea al mostrar que enseñar a estimar la incertidumbre de una medición forma parte del razonamiento científico mismo, y no de un apéndice técnico posterior. Comprender por qué un

resultado se acompaña de un intervalo, y no de un valor absoluto, es lo que permite a los estudiantes interpretar correctamente el grado de confianza que puede depositarse en una conclusión derivada de datos experimentales.

El razonamiento científico, entonces, no consiste en aceptar cualquier dato como prueba, sino en evaluar su solidez a la luz de la manera en que fue producido. Esta evaluación exige que quien experimenta distinga entre una coincidencia numérica y una regularidad respaldada por mediciones repetidas, criterio que atraviesa tanto la física como las matemáticas aplicadas a fenómenos naturales. Conviene precisar, además, que la solidez de una evidencia empírica no depende únicamente de la cantidad de datos recogidos, sino de la calidad del proceso mediante el cual fueron obtenidos. Cano et al. (2011) muestran que un conjunto reducido de mediciones cuidadosamente controladas puede resultar más informativo que una gran cantidad de datos recolectados sin atención a las fuentes de error, pues estas últimas introducen una dispersión que dificulta distinguir la señal del ruido. Esta precisión metodológica resulta especialmente pertinente en el trabajo escolar, donde la tentación de acumular datos sin depurar el procedimiento suele ser mayor que en contextos de investigación profesional.

La distinción entre dato y evidencia resulta, en este punto, particularmente útil: un dato aislado no constituye por sí mismo una evidencia, sino que adquiere ese estatus cuando se interpreta a la luz de una pregunta específica y de un conjunto suficiente de mediciones que permiten valorar su consistencia dentro del conjunto general de resultados obtenidos. Valorar correctamente la calidad de una evidencia exige, por tanto, criterios explícitos que se desarrollarán con mayor detalle al abordar la incertidumbre en el segundo capítulo de este libro.

Figura 1. De la evidencia empírica a la construcción de explicaciones científicas



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Cano et al. (2011).

La figura sintetiza el tránsito descrito en esta subsección: la evidencia empírica recogida durante el experimento se somete a un proceso de evaluación crítica, sostenido en el registro de incertidumbre, la repetición de mediciones y la coherencia con el conocimiento físico previo, antes de convertirse en una explicación científica formalmente defendible. Este esquema visual ayuda a distinguir la evidencia bruta, tal como se obtiene al medir, del conocimiento elaborado que resulta de someterla a un análisis riguroso.

1.1.4. Relación entre teoría, experiencia y explicación

La experimentación no ocurre en un vacío conceptual. Toda observación se realiza desde un marco teórico previo que orienta qué se mide, cómo se mide y qué se espera encontrar. Perales y Aróstegui (2021) sostienen que el enfoque STEAM favorece una relación más transparente entre teoría y experiencia, porque obliga a explicitar los supuestos disciplinares que subyacen a cada actividad, en lugar de

darlos por sentado. Marín-Marín et al. (2021), a partir de su análisis bibliométrico sobre la producción científica en STEAM, documentan un incremento sostenido de estudios que vinculan la experimentación con procesos de modelización, lo que sugiere que la comunidad académica reconoce la teoría no como un punto de llegada sino como una herramienta que permite anticipar el comportamiento de un fenómeno antes de comprobarlo empíricamente.

La explicación científica surge, entonces, del ajuste recíproco entre lo que la teoría predice y lo que la experiencia confirma o contradice. Cuando ese ajuste falla, el desacuerdo no invalida automáticamente ni la teoría ni el experimento, sino que exige revisar ambos elementos con el mismo nivel de rigor, evitando privilegiar uno sobre otro sin fundamento adicional. Esta interdependencia entre teoría y experiencia explica también por qué dos personas que observan el mismo fenómeno pueden llegar a interpretaciones distintas si parten de marcos conceptuales diferentes. Perales y Aróstegui (2021) señalan que reconocer explícitamente estos marcos, en lugar de presentarlos como verdades incuestionables, favorece una actitud crítica frente a los propios resultados, actitud que resulta indispensable para que la explicación científica se mantenga abierta a revisión ante nueva evidencia experimental.

Esta relación recíproca entre teoría y experiencia también explica por qué el avance científico no consiste en acumular datos indefinidamente, sino en refinar progresivamente las explicaciones disponibles a medida que nueva evidencia experimental exige ajustarlas, matizarlas o, en ocasiones, reformularlas de manera sustancial. Esta apertura a la revisión conceptual distingue al pensamiento científico maduro de una postura dogmática frente a los resultados obtenidos en un único experimento.

1.1.5. Alcances y límites de los resultados experimentales

Todo resultado experimental posee un alcance definido por las condiciones bajo las cuales fue obtenido. Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que generalizar una conclusión más allá del rango de valores efectivamente medidos constituye un error común, tanto en el trabajo escolar como en la investigación profesional, porque supone extrapolar sin evidencia que respalde esa extensión. Cano et al. (2011) añaden que reconocer los límites de un resultado implica también identificar las fuentes de error que no fueron controladas durante el experimento, ya sea por limitaciones del instrumento, del procedimiento o de las condiciones ambientales. Nombrar estas limitaciones no debilita la conclusión obtenida, sino que la sitúa con mayor honestidad dentro del conjunto de conocimientos disponibles.

Desde una perspectiva formativa, enseñar a reconocer los alcances y límites de un resultado experimental prepara a los estudiantes para una comprensión más madura de la ciencia, alejada de la idea de que un experimento produce verdades definitivas. Esta comprensión resulta particularmente relevante en el trabajo STEAM, donde los fenómenos abordados suelen ser complejos y multicausales. Reconocer estos límites no equivale a restar valor al trabajo experimental, sino a situarlo correctamente dentro del proceso más amplio de construcción del conocimiento científico, en el que cada resultado particular aporta una pieza parcial que se articula con otras piezas obtenidas en condiciones distintas. Perales y Aróstegui (2021) sostienen que esta articulación resulta especialmente visible en proyectos STEAM de mayor duración, en los que sucesivas experiencias experimentales, cada una con sus propios límites, terminan por ofrecer una comprensión más robusta del fenómeno estudiado de la que ofrecería un único experimento aislado.

Comunicar con honestidad los límites de un resultado experimental constituye, en definitiva, una forma de rigor tan importante como la precisión en la medición misma, pues evita que conclusiones parciales

se presenten con un grado de certeza que los datos disponibles no permiten sostener. El reconocimiento explícito de estos límites prepara, igualmente, el terreno conceptual para el tratamiento formal de la incertidumbre de medición que se desarrolla en el capítulo siguiente.

1.2. Pensamiento matemático en el estudio experimental

El pensamiento matemático constituye la herramienta que permite traducir un fenómeno físico en magnitudes, variables y relaciones susceptibles de análisis riguroso. Esta sección aborda la identificación de magnitudes y su clasificación funcional dentro de un diseño experimental, la comprensión de la proporcionalidad como forma de covariación entre cantidades, y el tránsito entre representaciones numéricas y gráficas que facilita interpretar los resultados obtenidos. Obando, Vasco y Arboleda (2014) advierten que este pensamiento no se desarrolla de manera espontánea, sino que requiere experiencias diseñadas específicamente para ello, razón por la cual cada apartado combina la reflexión conceptual con su aplicación directa al trabajo experimental.

1.2.1. Magnitudes y relaciones cuantitativas

El estudio experimental de un fenómeno físico requiere traducir sus propiedades en magnitudes susceptibles de medición. Gil y Rodríguez (2001) explican que este paso de traducción, aparentemente elemental, determina en buena medida la calidad del trabajo experimental posterior, porque una magnitud mal definida conduce a mediciones ambiguas y a comparaciones sin sentido. Obando, Vasco y Arboleda (2014) subrayan que el pensamiento matemático asociado a la cuantificación no se limita a asignar números a propiedades observables, sino que incluye comprender las relaciones que esas

magnitudes guardan entre sí, ya sean de suma, diferencia, razón o proporción. Esta comprensión relacional es la que permite avanzar de la simple descripción a la interpretación cuantitativa de un fenómeno.

En el trabajo STEAM, la identificación de magnitudes y de sus relaciones cuantitativas constituye el puente entre la física y las matemáticas, pues cada magnitud física medida se convierte en una variable matemática sobre la que es posible operar, representar y analizar mediante herramientas propias del pensamiento cuantitativo. La precisión en la definición de una magnitud incluye también especificar la unidad en la que será expresada, decisión que no es arbitraria sino que responde a convenciones acordadas dentro de la comunidad científica. Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que trabajar con unidades coherentes a lo largo de todo el proceso experimental evita errores de conversión que, aunque parezcan menores, pueden alterar de manera significativa la interpretación final de una relación cuantitativa entre magnitudes físicas.

El dominio de esta traducción entre propiedad física y magnitud matemática resulta indispensable para etapas posteriores del trabajo experimental, en las que será necesario operar con dichas magnitudes mediante herramientas propias del álgebra y de la estadística descriptiva. Esta precisión conceptual en torno a las magnitudes constituye, por lo demás, un requisito previo indispensable para el tratamiento estadístico de los datos que se abordará más adelante.

1.2.2. Variables dependientes, independientes y de control

Distinguir entre variables dependientes, independientes y de control constituye una competencia central del pensamiento experimental. Cano et al. (2011) sostienen que buena parte del error en el diseño de experiencias escolares se origina en la confusión entre estos roles, lo que impide interpretar correctamente qué magnitud responde a los

cambios introducidos deliberadamente por quien experimenta. Gil y Rodríguez (2001) ofrecen un criterio operativo para esta distinción: la variable independiente es aquella que se manipula de forma deliberada, la dependiente es la que se mide como respuesta a esa manipulación, y las variables de control son aquellas que deben mantenerse constantes para que la relación observada entre las dos primeras no quede contaminada por factores externos no considerados.

Esta clasificación no es un ejercicio meramente terminológico, sino una condición necesaria para que un experimento resulte interpretable. Sin un control adecuado de las variables ajenas al fenómeno estudiado, cualquier relación cuantitativa obtenida corre el riesgo de reflejar una coincidencia circunstancial y no una regularidad física genuina. Un aspecto adicional que conviene señalar es que una misma magnitud puede desempeñar distintos roles según el diseño experimental particular que se adopte, de modo que una variable que en un experimento se mantiene como constante de control puede convertirse, en otro diseño, en la variable independiente que se manipula deliberadamente. Cano et al. (2011) advierten que esta flexibilidad exige que quien diseña el experimento justifique explícitamente el rol asignado a cada magnitud, en lugar de asumir que dicho rol resulta evidente por la naturaleza física de la variable en cuestión.

Documentar por escrito, antes de iniciar la recolección de datos, cuál variable cumplirá cada función dentro del experimento evita ambigüedades posteriores al momento de analizar los resultados y facilita, además, que otras personas puedan revisar y replicar el procedimiento diseñado. Esta claridad previa evita, asimismo, discusiones posteriores sobre la validez del diseño experimental una vez que los datos ya han sido recolectados.

Tabla 1. Clasificación de variables según su función en una experiencia experimental

Tipo de variable	Función en el experimento	Ejemplo físico
Independiente	Se manipula de forma deliberada por quien experimenta	Ángulo de inclinación de un plano
Dependiente	Se mide como respuesta a la manipulación de la independiente	Tiempo de descenso de un cuerpo
De control	Se mantiene constante para evitar interferencias en la relación estudiada	Masa del cuerpo utilizado

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Cano et al. (2011).

La tabla resume la distinción funcional entre variable independiente, dependiente y de control discutida en esta subsección, junto con un ejemplo físico concreto para cada categoría. Esta clasificación no busca agotar todas las variables posibles en un experimento, sino ofrecer un modelo replicable que el lector puede aplicar a su propio diseño experimental, identificando con precisión qué magnitud manipula, cuál mide como respuesta y cuáles debe mantener constantes.

1.2.3. Proporcionalidad y variación entre cantidades

La proporcionalidad constituye una de las herramientas matemáticas más utilizadas para describir cómo varían las magnitudes físicas entre sí. Obando, Vasco y Arboleda (2014) advierten, sin embargo, que su comprensión escolar suele limitarse a la aplicación mecánica de la regla de tres, sin que se desarrolle un razonamiento genuino sobre la covariación entre cantidades, lo que restringe su utilidad para interpretar fenómenos físicos reales. Piaget e Inhelder (1956), en su análisis clásico sobre el desarrollo de las nociones de semejanza y

proporción, mostraron que el razonamiento proporcional avanza desde comparaciones cualitativas hacia estructuras cuantitativas progresivamente más complejas, un proceso que no ocurre de manera espontánea sino que requiere de experiencias diseñadas específicamente para favorecerlo.

En el estudio experimental de fenómenos físicos, reconocer una relación de proporcionalidad directa o inversa entre dos magnitudes permite anticipar su comportamiento en condiciones distintas de las medidas, siempre que dicha relación haya sido establecida con datos suficientes y no se asuma como válida únicamente a partir de la intuición visual de una gráfica. El tránsito desde la proporcionalidad cualitativa hacia su expresión cuantitativa exige, además, experiencias concretas donde el estudiante manipule directamente las cantidades involucradas y observe cómo varían conjuntamente. Obando, Vasco y Arboleda (2014) documentan que este tipo de experiencias manipulativas, cuando se acompañan de preguntas orientadas a explicitar la relación observada, favorece una comprensión más duradera de la proporcionalidad que la simple memorización de procedimientos algorítmicos para resolverla.

El razonamiento proporcional, una vez consolidado, se convierte en una herramienta transferible a múltiples contextos físicos distintos, desde el estudio del movimiento hasta el análisis de fenómenos térmicos, lo que justifica la atención particular que este capítulo dedica a su desarrollo conceptual. El dominio de la proporcionalidad prepara, en particular, el terreno conceptual necesario para el estudio posterior de relaciones funcionales más complejas entre magnitudes físicas.

1.2.4. Representaciones numéricas y gráficas

Representar los datos experimentales, tanto de forma numérica como gráfica, permite hacer visibles relaciones que no siempre resultan evidentes a partir de una tabla de valores aislados. Martín-Cudero

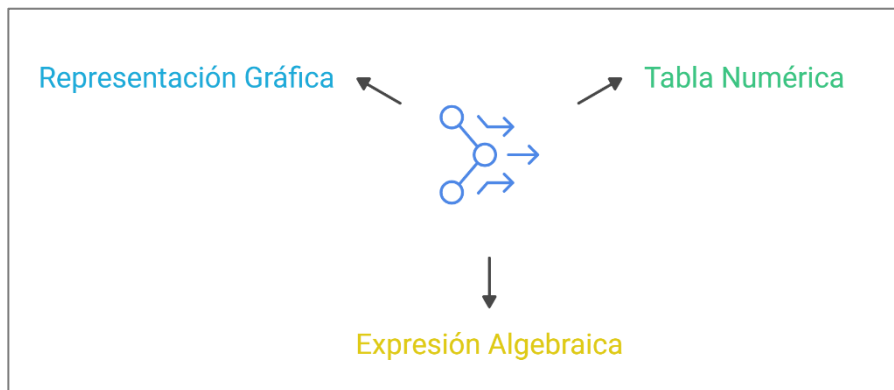
(2024) destaca que los proyectos STEAM que integran de manera explícita el tránsito entre distintas representaciones matemáticas favorecen una comprensión más profunda de los fenómenos estudiados, en comparación con aquellos que se limitan a un único tipo de registro. Obando, Vasco y Arboleda (2014) señalan que la representación gráfica de una relación entre magnitudes exige decisiones matemáticas previas, como la selección de la escala o el tipo de eje, decisiones que condicionan la interpretación posterior de la tendencia observada. Una escala mal elegida puede exagerar o disimular una relación que en los datos originales resulta más moderada.

El tránsito entre la tabla numérica, la expresión algebraica y la representación gráfica constituye, en consecuencia, un ejercicio de traducción matemática que fortalece la comprensión del fenómeno físico subyacente, en la medida en que cada forma de representación aporta información complementaria sobre el comportamiento de las variables estudiadas. La selección del tipo de gráfico más adecuado depende, en gran medida, de la naturaleza de la relación que se desea evidenciar, pues una relación lineal se representa con claridad mediante una recta, mientras que relaciones más complejas pueden requerir escalas logarítmicas u otras transformaciones que faciliten su lectura. Martín-Cudero (2024) señala que enseñar a elegir el tipo de representación apropiado, y no únicamente a construirlo técnicamente, constituye un componente frecuentemente descuidado en las propuestas STEAM orientadas al análisis de datos experimentales.

La combinación de una tabla numérica clara con una gráfica bien construida ofrece, en conjunto, una base más sólida para la argumentación científica que cualquiera de las dos representaciones consideradas de manera aislada. Esta competencia representacional

resulta, además, transferible a otras asignaturas del currículo escolar más allá del ámbito específico de la física experimental.

Figura 2. Formas de representación de relaciones entre magnitudes experimentales



Nota. Elaboración propia con base en Martín-Cudero (2024); Obando, Vasco y Arboleda (2014).

La figura ilustra el tránsito entre la tabla numérica, la expresión algebraica y la representación gráfica descrito en esta subsección, mostrando cómo un mismo conjunto de datos experimentales puede expresarse de formas complementarias. Cada forma de representación aporta información distinta sobre el comportamiento de las variables, y su combinación fortalece la interpretación matemática del fenómeno estudiado.

1.2.5. Interpretación matemática de resultados observables

Interpretar matemáticamente un resultado observable implica ir más allá de la lectura literal de un número o de una gráfica, para preguntarse qué significado físico tiene esa expresión cuantitativa. Obando, Vasco y Arboleda (2014) plantean que esta interpretación requiere reconocer el contexto del que provienen los datos, pues una misma expresión

matemática puede tener implicaciones distintas según el fenómeno al que se aplique. Piaget e Inhelder (1956) mostraron que la capacidad de interpretar relaciones cuantitativas de manera flexible, sin quedar atado a un procedimiento único, se desarrolla progresivamente y se ve favorecida por la exposición reiterada a situaciones donde una misma relación matemática debe reconocerse en contextos diferentes.

En el trabajo experimental, esta habilidad interpretativa permite distinguir cuándo una relación matemática encontrada en los datos responde a una regularidad física genuina y cuándo constituye un ajuste circunstancial válido únicamente para el conjunto de valores medido, distinción que resulta central para evitar generalizaciones apresuradas. Esta capacidad interpretativa se fortalece, asimismo, cuando el estudiante tiene oportunidad de comparar los resultados obtenidos en su propio experimento con los reportados en fuentes externas confiables, ejercicio que permite calibrar sus expectativas y detectar posibles desviaciones sistemáticas en su propio procedimiento. Obando, Vasco y Arboleda (2014) sugieren que esta contrastación externa debe introducirse de manera progresiva, evitando que se convierta en una simple verificación de si el resultado propio coincide con el esperado, sino en una oportunidad genuina de análisis crítico.

Esta interpretación matemática cuidadosa constituye, en última instancia, el puente que permite transformar un conjunto de mediciones dispersas en una conclusión con sentido físico, tarea que exige tanto competencia matemática como comprensión del fenómeno estudiado. El desarrollo sostenido de esta interpretación matemática constituye uno de los objetivos formativos centrales que atraviesa la totalidad de este libro.

1.3. Principios físicos para la exploración de fenómenos

Antes de medir o modelar, quien experimenta debe reconocer qué propiedades y comportamientos del sistema físico resultan relevantes para el problema planteado. Esta sección recorre la identificación de propiedades físicas, el análisis de interacciones y cambios de estado, la importancia de las condiciones iniciales y la búsqueda de regularidades que permitan una explicación causal fundamentada. Gil y Rodríguez (2001) ilustran estos principios con experiencias sencillas de mecánica y termodinámica, mostrando que la comprensión física precede y orienta cualquier decisión posterior sobre variables, instrumentos o procedimientos de medición.

1.3.1. Identificación de propiedades y comportamientos físicos

Explorar un fenómeno físico exige, en primer término, identificar qué propiedades del sistema resultan pertinentes para el problema planteado. Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que no todas las propiedades observables de un sistema son relevantes para una investigación específica, por lo que la selección inicial de aquellas que se estudiarán constituye ya una decisión de carácter físico y no únicamente metodológico. Esta identificación requiere distinguir entre propiedades intrínsecas del sistema, que no dependen de la interacción con el entorno, y comportamientos que solo se manifiestan bajo determinadas condiciones externas. Reconocer esta diferencia evita atribuir a un objeto características que en realidad dependen del contexto experimental en el que se le observa.

El dominio progresivo de esta identificación permite a quien experimenta anticipar, antes de realizar la medición, qué tipo de comportamiento cabría esperar del sistema estudiado, expectativa que después se contrasta con los datos obtenidos y que orienta la interpretación de posibles desviaciones respecto de lo previsto. La

identificación cuidadosa de propiedades físicas relevantes exige, con frecuencia, descartar explícitamente aquellas que, aunque observables, no inciden en el comportamiento que se investiga. Gil y Rodríguez (2001) ilustran esta selección con ejemplos de mecánica elemental, en los que propiedades como el color de un objeto resultan irrelevantes para el estudio de su caída libre, mientras que su masa y su forma sí pueden influir de manera determinante en el fenómeno observado.

Esta capacidad de selección se perfecciona con la exposición reiterada a distintos tipos de sistemas físicos, lo que permite a los estudiantes reconocer patrones comunes entre fenómenos aparentemente diferentes. Este ejercicio de selección disciplinada constituye, en el fondo, una primera aproximación al pensamiento físico que se profundizará en los capítulos siguientes.

1.3.2. Interacciones, cambios y estados de los sistemas

Los fenómenos físicos rara vez ocurren de manera aislada, sino que resultan de interacciones entre distintos elementos de un sistema. Gil y Rodríguez (2001) explican que comprender estas interacciones exige rastrear cómo un cambio introducido en una parte del sistema se propaga y modifica el estado de las demás, relación que no siempre es directa ni inmediata. El estado de un sistema, en un momento determinado, resume el conjunto de valores que adoptan sus variables relevantes, y su evolución en el tiempo constituye precisamente el objeto de estudio de buena parte de la física experimental. Registrar esta evolución exige mediciones sucesivas que permitan reconstruir la trayectoria del sistema y no únicamente su condición final.

Comprender un fenómeno físico, entonces, implica seguir el cambio de estado a lo largo de un proceso, en lugar de limitarse a comparar únicamente el punto inicial con el punto final, práctica que puede ocultar comportamientos intermedios relevantes para la explicación

completa del fenómeno. El seguimiento de las interacciones dentro de un sistema físico se ve facilitado cuando se dispone de un modelo previo, aunque sea simplificado, que anticipe qué elementos del sistema podrían influirse mutuamente. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan construir este modelo inicial a partir de principios físicos ya establecidos, de modo que la experimentación posterior sirva para poner a prueba dicho modelo y no para construirlo desde cero sin ningún referente conceptual previo.

El análisis de interacciones dentro de un sistema se facilita, además, cuando se representa mediante diagramas sencillos que muestren de manera explícita qué elementos influyen sobre cuáles otros dentro del fenómeno estudiado. Este tipo de representación esquemática anticipa, de manera sencilla, el trabajo de modelización que se retomará con mayor formalidad en capítulos posteriores.

1.3.3. Condiciones iniciales y evolución de un fenómeno

Las condiciones iniciales de un sistema determinan, en gran medida, la trayectoria que seguirá su evolución posterior. Gil y Rodríguez (2001) insisten en que registrar con precisión estas condiciones al inicio de un experimento resulta indispensable, pues cualquier comparación posterior entre distintos ensayos solo resulta válida si las condiciones de partida son suficientemente similares o si sus diferencias han sido explícitamente consideradas. Cano et al. (2011) añaden que una parte importante de la incertidumbre observada en los resultados experimentales proviene, precisamente, de imprecisiones en la determinación de estas condiciones iniciales, lo que refuerza la necesidad de documentarlas con el mismo cuidado o que se dedica a la medición de las variables principales del estudio.

Seguir la evolución de un fenómeno a partir de condiciones iniciales bien definidas permite, además, distinguir entre comportamientos

deterministas, en los que el estado final puede predecirse con precisión razonable, y comportamientos en los que pequeñas variaciones iniciales producen diferencias notables en el resultado observado. La documentación precisa de las condiciones iniciales adquiere especial relevancia cuando se busca comparar resultados obtenidos por distintos equipos de trabajo dentro de una misma actividad STEAM, pues solo un registro detallado de dichas condiciones permite determinar si las diferencias observadas entre grupos responden a variaciones genuinas del fenómeno o a diferencias en el punto de partida de cada experimento. Cano et al. (2011) insisten en que esta documentación debe formar parte del registro escrito del experimento desde el primer momento, y no reconstruirse de memoria una vez finalizada la actividad.

La atención a las condiciones iniciales prepara, asimismo, a los estudiantes para comprender por qué la repetición exacta de un experimento resulta, en la práctica, un ideal que solo se aproxima mediante un control cuidadoso de dichas condiciones. La disciplina adquirida en este registro beneficia directamente la calidad del trabajo de medición que se desarrolla en el segundo capítulo de este libro.

Tabla 2. Condiciones iniciales y variables observables en diferentes sistemas físicos

Sistema físico	Condición inicial relevante	Variable observable
Péndulo simple	Ángulo y posición de partida	Período de oscilación
Cuerpo en caída libre	Altura inicial de lanzamiento	Tiempo de caída
Sistema térmico	Temperatura inicial del material	Curva de enfriamiento

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Cano et al. (2011).

La tabla presenta tres sistemas físicos habituales en el trabajo experimental escolar, junto con la condición inicial que resulta determinante en cada caso y la variable observable que permite seguir su evolución. Este contraste entre sistemas distintos ilustra que, aunque el principio de documentar condiciones iniciales es general, su aplicación concreta varía según la naturaleza del fenómeno estudiado.

1.3.4. Regularidades físicas observables mediante experimentos

Detrás de la aparente diversidad de fenómenos físicos existen regularidades que se repiten en condiciones comparables, y su identificación constituye uno de los propósitos centrales de la experimentación. Gil y Rodríguez (2001) muestran, a través de experiencias sencillas de mecánica y termodinámica, cómo la repetición controlada de un mismo procedimiento permite distinguir una regularidad genuina de una coincidencia aislada. Ros et al. (2026) destacan que el reconocimiento de patrones constituye uno de los pilares metodológicos del marco STEAM-5E, en la medida en que orienta a los estudiantes hacia la búsqueda activa de relaciones que se mantienen estables a través de distintas repeticiones del experimento, en lugar de conformarse con la observación de un único ensayo.

Estas regularidades, una vez identificadas y contrastadas mediante repeticiones sucesivas, constituyen la base empírica sobre la que posteriormente se formulan generalizaciones físicas, cuyo alcance queda siempre condicionado por el rango de condiciones bajo las cuales fueron observadas. El reconocimiento de una regularidad física suele beneficiarse, además, de la variación deliberada de las condiciones experimentales dentro de un rango razonable, pues esta variación permite comprobar si la relación observada se mantiene estable o si, por el contrario, depende de manera crítica de un conjunto muy particular de condiciones. Gil y Rodríguez (2001) muestran, con experiencias de oscilaciones y de circuitos eléctricos sencillos, cómo

esta exploración sistemática del rango de condiciones fortalece la confianza en la regularidad identificada.

Estas regularidades identificadas mediante la experimentación escolar constituyen, en pequeña escala, el mismo tipo de conocimiento generalizable que sustenta las leyes físicas estudiadas en cursos más avanzados. El tránsito desde la regularidad observada hasta la ley física formal constituye, precisamente, uno de los logros más valiosos de la experimentación escolar bien conducida.

1.3.5. Explicación causal a partir de evidencias

Establecer una explicación causal a partir de evidencias experimentales exige un cuidado particular, pues la correlación observada entre dos magnitudes no implica automáticamente una relación de causa y efecto entre ellas. Cano et al. (2011) advierten que confundir ambas nociones constituye uno de los errores conceptuales más persistentes en la interpretación de resultados experimentales. Perales y Aróstegui (2021) sostienen que el trabajo interdisciplinario propio del enfoque STEAM ofrece herramientas adicionales para fortalecer una explicación causal, en la medida en que permite contrastar la relación observada desde distintas perspectivas disciplinares, reduciendo así el riesgo de aceptar una causalidad aparente sustentada en un único tipo de evidencia.

Una explicación causal sólida, en consecuencia, requiere descartar explicaciones alternativas plausibles y mostrar que la relación observada se mantiene de manera consistente cuando se controlan otras variables que podrían estar interviniendo en el fenómeno, criterio que distingue una hipótesis bien fundamentada de una simple conjetura. La construcción de una explicación causal robusta se beneficia, adicionalmente, de la búsqueda deliberada de casos que podrían refutarla, práctica que exige un esfuerzo intelectual mayor que la simple acumulación de casos que la confirman. Cano et al. (2011)

señalan que esta búsqueda activa de contraejemplos constituye un hábito poco frecuente en el trabajo experimental escolar, aun cuando resulta central para distinguir una explicación causal sólida de una que simplemente no ha sido puesta a prueba de manera suficientemente exigente.

El desarrollo de esta capacidad de explicación causal fundamentada constituye, en definitiva, uno de los aportes formativos más relevantes que la experimentación física ofrece al pensamiento científico en general. Esta disposición crítica frente a la propia explicación constituye, en última instancia, una de las actitudes más valiosas que el trabajo STEAM puede cultivar en los estudiantes.

1.4. Enfoque STEAM aplicado al trabajo experimental

El enfoque STEAM articula los aportes de la ciencia, la tecnología, la ingeniería, el arte y las matemáticas alrededor de un mismo problema experimental. Esta sección examina cómo dichas disciplinas contribuyen al planteamiento de preguntas, cómo los recursos tecnológicos amplían la capacidad de observar y registrar fenómenos, cómo la ingeniería traduce el conocimiento físico en soluciones de diseño, y cómo la comunicación visual y matemática integra los hallazgos obtenidos. Marín-Marín et al. (2021) documentan que esta integración disciplinar, cuando se articula con cuidado, fortalece de manera significativa el desarrollo de competencias científicas en el trabajo experimental escolar.

1.4.1. Aportes de las ciencias al planteamiento de problemas

El enfoque STEAM reconoce que un mismo problema puede enriquecerse cuando se aborda desde los aportes específicos de distintas disciplinas científicas. Perales y Aróstegui (2021) explican que esta convergencia no diluye la identidad de cada disciplina, sino que

aprovecha sus herramientas particulares para dar una respuesta más completa a preguntas que, tratadas de manera aislada, quedarían parcialmente resueltas. Marín-Marín et al. (2021), a partir de su revisión bibliométrica, documentan que los estudios que integran explícitamente contenidos de ciencias naturales en el planteamiento de problemas STEAM tienden a mostrar un desarrollo más consistente de habilidades de razonamiento científico, en comparación con propuestas que priorizan únicamente la dimensión tecnológica o de diseño.

El planteamiento de un problema desde esta perspectiva integrada exige, entonces, reconocer qué elementos de cada disciplina resultan indispensables para comprenderlo, evitando tanto la fragmentación del conocimiento en compartimentos aislados como una integración superficial que no aporte rigor conceptual adicional. La integración de aportes disciplinares distintos en el planteamiento de un problema exige, asimismo, un lenguaje común que permita a estudiantes con distintas afinidades disciplinares comunicarse sin ambigüedad sobre el fenómeno estudiado. Marín-Marín et al. (2021) sugieren que las magnitudes físicas medibles, expresadas mediante notación matemática estandarizada, cumplen frecuentemente esta función articuladora, al ofrecer un punto de referencia común que no depende del vocabulario específico de ninguna disciplina en particular.

Esta convergencia disciplinar exige, adicionalmente, que los docentes involucrados en un proyecto STEAM coordinen sus expectativas respecto de qué aporta cada área al planteamiento común del problema. Esta coordinación docente previa evita, en la práctica, que los estudiantes reciban mensajes contradictorios sobre el propósito real de la actividad interdisciplinaria propuesta.

1.4.2. Uso de recursos tecnológicos para observar y registrar

Los recursos tecnológicos han ampliado de manera considerable la capacidad de observar y registrar fenómenos físicos con mayor precisión y en intervalos de tiempo antes inaccesibles a la observación directa. Marín-Marín et al. (2021) documentan un crecimiento sostenido de estudios que incorporan sensores, simulaciones y dispositivos digitales en actividades STEAM, señal de que estas herramientas se han integrado de manera progresiva al trabajo experimental escolar. Ros et al. (2026) advierten, sin embargo, que la incorporación de tecnología debe subordinarse siempre al propósito pedagógico del experimento, y no convertirse en un fin en sí misma, pues el uso de un dispositivo sofisticado no garantiza por sí solo una mejor comprensión del fenómeno si no se acompaña de una interpretación crítica de los datos que este produce.

El registro tecnológico de un fenómeno físico, cuando se emplea con criterio, permite además comparar de manera más rigurosa los resultados obtenidos en distintas repeticiones del experimento, reduciendo la variabilidad asociada a la lectura manual de instrumentos tradicionales. La incorporación de recursos tecnológicos exige, además, formar a los estudiantes en la lectura crítica de los datos que estos dispositivos producen, pues un sensor puede registrar valores con apariencia de precisión que, sin embargo, incluyen limitaciones propias de su diseño o de su rango de operación. Ros et al. (2026) advierten que ignorar estas limitaciones técnicas conduce a una confianza excesiva en los datos digitales, confianza que puede resultar tan problemática como la desconfianza infundada hacia la tecnología.

El equilibrio entre tecnología y criterio interpretativo constituye, en consecuencia, un objetivo formativo tan relevante como el dominio técnico de los instrumentos digitales empleados durante la experimentación. Este equilibrio entre herramienta y criterio

constituye, en definitiva, una competencia digital de orden superior que trasciende el manejo técnico de un dispositivo específico.

Tabla 3. Recursos tecnológicos aplicables a la observación y registro de fenómenos

Recurso tecnológico	Magnitud que permite registrar	Consideración didáctica
Sensor de movimiento	Posición y velocidad	Requiere calibración previa
Sensor de temperatura	Variación térmica en el tiempo	Sensible a la frecuencia de muestreo
Hoja de cálculo	Organización y graficación de datos	Facilita el ajuste de tendencias

Nota. Elaboración propia con base en Marín-Marín et al. (2021); Ros et al. (2026).

La tabla vincula tres recursos tecnológicos de uso frecuente en el aula con la magnitud que permiten registrar y una consideración didáctica específica para su empleo responsable. Su propósito es ofrecer un punto de partida concreto para seleccionar la herramienta adecuada según el propósito experimental, evitando que la incorporación de tecnología se realice sin un criterio pedagógico explícito.

1.4.3. Diseño y construcción de soluciones desde la ingeniería

La dimensión de ingeniería dentro del enfoque STEAM aporta un componente de diseño y construcción que complementa la observación y el análisis propios de la física y las matemáticas. Perales y Aróstegui (2021) señalan que este componente traslada el conocimiento generado durante la experimentación hacia la elaboración de soluciones concretas, lo que exige traducir principios físicos en decisiones prácticas de diseño. Ros et al. (2026) destacan que el proceso de diseño desde la ingeniería suele requerir varios ciclos

de prueba y ajuste, en los que cada prototipo construido se somete a nuevas mediciones que permiten evaluar su desempeño y orientar las modificaciones necesarias, lógica que reproduce en pequeña escala el mismo proceso iterativo propio de la experimentación científica.

Esta articulación entre principios físicos y diseño de ingeniería refuerza, además, la comprensión conceptual de los fenómenos estudiados, pues obliga a anticipar consecuencias cuantitativas concretas de cada decisión de diseño, en lugar de limitarse a una comprensión puramente descriptiva del fenómeno. El proceso de diseño desde la ingeniería se enriquece, igualmente, cuando se documentan no solo los prototipos exitosos sino también aquellos que no alcanzaron el desempeño esperado, pues el análisis de estos fracasos suele aportar información valiosa sobre los principios físicos que estaban siendo subestimados en el diseño original. Perales y Aróstegui (2021) destacan que esta valoración positiva del error de diseño constituye una de las contribuciones más significativas de la ingeniería al trabajo STEAM en su conjunto.

Esta lógica de prueba y ajuste, propia de la ingeniería, refuerza además la tolerancia a la incertidumbre que resulta indispensable para el trabajo científico en su conjunto. Esta valoración positiva del ensayo no exitoso constituye, además, un antídoto pedagógico frente a la frustración que suele acompañar los primeros intentos de diseño.

1.4.4. Representación visual y comunicación de hallazgos

Comunicar los hallazgos obtenidos durante un proceso experimental constituye una etapa tan relevante como la propia obtención de los datos. Martín-Cudero (2024) sostiene que la calidad de la representación visual empleada para transmitir un resultado influye directamente en la comprensión que otros puedan hacer de él, por lo que su elaboración debe considerarse parte integral del trabajo científico y no un aspecto meramente estético. Marín-Marín et al. (2021)

señalan que las propuestas STEAM que incorporan de manera explícita la comunicación de hallazgos, mediante recursos gráficos y visuales cuidadosamente elaborados, favorecen que los estudiantes desarrollen una comprensión más crítica de sus propios resultados, al verse obligados a justificar sus elecciones de representación ante otros.

Una representación visual adecuada debe equilibrar la fidelidad a los datos originales con la claridad necesaria para que el mensaje resulte comprensible, evitando tanto la simplificación excesiva que oculte información relevante como la sobrecarga de elementos que dificulte la lectura del resultado principal. La comunicación de hallazgos se fortalece, adicionalmente, cuando incorpora de manera explícita las incertidumbres asociadas a los datos representados, práctica que evita transmitir una precisión mayor a la que realmente respaldan las mediciones realizadas. Martín-Cudero (2024) señala que omitir esta información en las representaciones visuales constituye una simplificación que, aunque facilita la lectura inmediata del gráfico, puede inducir a interpretaciones excesivamente confiadas sobre la exactitud de los resultados presentados.

Una comunicación de hallazgos cuidadosamente elaborada facilita, igualmente, que otros estudiantes o docentes puedan valorar críticamente el trabajo realizado y proponer mejoras al procedimiento empleado. El cuidado en la comunicación de resultados constituye, así, una competencia que trasciende el ámbito estrictamente científico y resulta valiosa en múltiples contextos profesionales.

1.4.5. Articulación matemática en experiencias STEAM

Las matemáticas cumplen, dentro del enfoque STEAM, una función articuladora que conecta la observación física con el diseño tecnológico y con la comunicación de resultados. Martín-Cudero (2024) sostiene que esta función articuladora explica por qué las

matemáticas suelen presentarse como el eje transversal de las propuestas STEAM, incluso cuando el fenómeno estudiado pertenece principalmente al ámbito de la física o de la ingeniería. Obando, Vasco y Arboleda (2014) advierten, no obstante, que esta articulación solo resulta efectiva cuando el contenido matemático empleado responde a una necesidad genuina del problema físico estudiado, y no cuando se introduce de manera artificial únicamente para justificar la etiqueta STEAM de una actividad.

Una experiencia STEAM bien articulada, en consecuencia, permite reconocer con claridad en qué momento del proceso experimental interviene cada herramienta matemática específica, ya sea para cuantificar una magnitud, para representar una relación entre variables o para evaluar la consistencia de los resultados obtenidos. Esta función articuladora de las matemáticas se manifiesta también en la evaluación de la consistencia interna de un proyecto STEAM, pues permite verificar si las conclusiones alcanzadas en la etapa de diseño resultan coherentes con las relaciones cuantitativas establecidas previamente durante la fase experimental. Obando, Vasco y Arboleda (2014) sostienen que esta verificación de coherencia constituye, en sí misma, un ejercicio de pensamiento matemático de orden superior, distinto del cálculo rutinario aplicado en etapas anteriores del proyecto.

El desarrollo de esta articulación matemática constituye, en síntesis, uno de los criterios más útiles para valorar la calidad conceptual de una propuesta STEAM más allá de su atractivo visual o tecnológico inmediato. Esta mirada integradora de las matemáticas dentro del trabajo STEAM se retomará de manera sistemática en el análisis metodológico desarrollado en el tercer capítulo.

1.5. Diseño de experiencias para investigar fenómenos

Diseñar una experiencia de investigación exige delimitar con precisión el objeto de estudio, formular hipótesis susceptibles de comprobación y seleccionar cuidadosamente las variables y condiciones bajo las cuales se recolectarán los datos. Esta sección cierra el capítulo articulando los principios de observación, pensamiento matemático y conocimiento físico desarrollados previamente en un procedimiento experimental coherente. Ros et al. (2026) señalan que este diseño, lejos de ser un trámite previo a la medición, constituye en sí mismo un ejercicio de pensamiento científico que determina la calidad de toda la evidencia que se obtendrá posteriormente.

1.5.1. Delimitación del objeto de estudio

Diseñar una experiencia de investigación comienza por delimitar con precisión el objeto de estudio, tarea que exige distinguir entre el fenómeno amplio que despierta interés y el aspecto específico de ese fenómeno que resulta abordable con los recursos disponibles. Gil y Rodríguez (2001) advierten que una delimitación imprecisa suele derivar en experimentos que intentan responder demasiadas preguntas a la vez, sin lograr responder ninguna con suficiente rigor. Ros et al. (2026) señalan que esta delimitación debe realizarse en diálogo constante entre las disciplinas involucradas en el enfoque STEAM, de modo que el objeto de estudio quede definido de manera que resulte significativo tanto desde la perspectiva científica como desde la tecnológica o la matemática, sin que ninguna de estas dimensiones quede subordinada de forma injustificada a las demás.

Un objeto de estudio bien delimitado facilita, además, la selección posterior de instrumentos, variables y procedimientos, pues reduce la ambigüedad respecto de qué debe medirse y con qué propósito, condición que resulta indispensable para que el diseño experimental

resultante sea coherente. La delimitación del objeto de estudio debe revisarse, además, a medida que avanza la investigación, pues es frecuente que la exploración inicial revele aspectos del fenómeno que no habían sido considerados al momento de definir el problema. Ros et al. (2026) recomiendan mantener cierta flexibilidad en esta delimitación durante las primeras etapas del proyecto STEAM, sin que ello implique renunciar a la precisión necesaria una vez que el diseño experimental ha sido definitivamente establecido.

Un objeto de estudio bien delimitado permite, además, estimar con mayor realismo el tiempo y los recursos que demandará el desarrollo completo de la experiencia investigativa. Esta atención al objeto de estudio constituye, en definitiva, el punto de partida que determinará la coherencia de todas las decisiones metodológicas posteriores.

1.5.2. Formulación de hipótesis susceptibles de comprobación

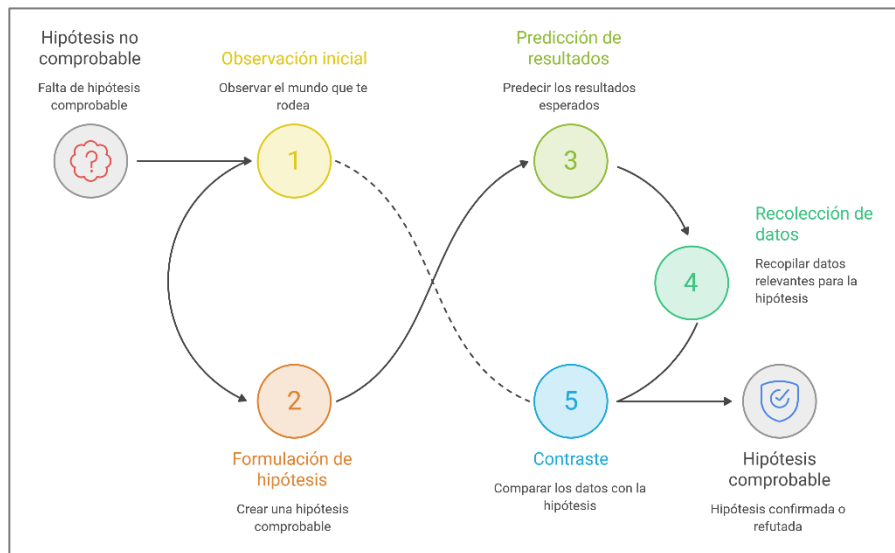
Una hipótesis científica debe formularse de manera que resulte posible someterla a comprobación empírica, condición que distingue a una hipótesis de una simple opinión o expectativa. Ros et al. (2026) sostienen que el marco STEAM-5E otorga un lugar central a esta formulación, en la medida en que orienta explícitamente a los estudiantes a expresar sus predicciones en términos que puedan contrastarse con datos concretos. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que una hipótesis bien formulada indique, con la mayor precisión posible, qué relación se espera encontrar entre las variables involucradas, de modo que sea posible anticipar qué resultado confirmaría la hipótesis y cuál la pondría en duda, evitando formulaciones tan generales que resulten compatibles con cualquier desenlace experimental.

La formulación de hipótesis susceptibles de comprobación constituye, en este sentido, un ejercicio de pensamiento anticipatorio que obliga a quien investiga a explicitar sus supuestos antes de recolectar los datos,

práctica que fortalece la honestidad metodológica del proceso experimental. Formular una hipótesis susceptible de comprobación exige, igualmente, anticipar qué resultado se obtendría si la hipótesis fuera incorrecta, ejercicio que obliga a considerar explicaciones alternativas antes de comenzar la recolección de datos. Gil y Rodríguez (2001) sostienen que esta anticipación de escenarios alternativos constituye una de las diferencias más claras entre una hipótesis científica bien formulada y una simple expectativa intuitiva sobre el comportamiento de un fenómeno.

La claridad en la formulación de la hipótesis facilita, igualmente, la comunicación posterior de los resultados, pues permite mostrar con precisión en qué medida la evidencia recogida respalda o no la predicción inicial. Esta exigencia de comprobabilidad constituye, precisamente, el rasgo que distingue a una hipótesis científica de una simple opinión sobre el comportamiento de un fenómeno.

Figura 3. Secuencia para formular y comprobar una hipótesis experimental



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Ros et al. (2026).

La figura esquematiza la secuencia descrita en esta subsección, desde la formulación de una hipótesis comprobable hasta su contraste con los datos obtenidos, pasando por la anticipación explícita de qué resultado la confirmaría y cuál la refutaría. Esta representación visual busca reforzar que la comprobación no es un paso aislado, sino la culminación lógica de una hipótesis bien planteada.

1.5.3. Selección de variables y condiciones experimentales

Una vez formulada la hipótesis, corresponde seleccionar las variables que se medirán y las condiciones bajo las cuales se llevará a cabo el experimento. Cano et al. (2011) subrayan que esta selección debe considerar no solo qué variables resultan teóricamente relevantes para el fenómeno estudiado, sino también cuáles pueden medirse con los instrumentos y recursos efectivamente disponibles. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan definir con anticipación el rango de valores dentro del cual se explorará cada variable, decisión que condiciona directamente la validez de las conclusiones que posteriormente puedan extraerse, pues los resultados obtenidos solo resultarán aplicables dentro de ese rango previamente establecido.

Las condiciones experimentales seleccionadas deben, además, mantenerse documentadas con el detalle suficiente para que el experimento pueda repetirse en circunstancias comparables, requisito que resulta indispensable para verificar posteriormente la consistencia de los resultados obtenidos. La selección de variables y condiciones experimentales debe considerar, asimismo, la viabilidad práctica de mantener constantes aquellas magnitudes designadas como variables de control durante todo el desarrollo del experimento, pues una variable que resulta difícil de controlar en la práctica puede introducir una fuente de error no anticipada en el diseño original. Cano et al. (2011) recomiendan realizar una prueba preliminar del procedimiento

antes de la recolección definitiva de datos, precisamente para identificar este tipo de dificultades.

Una selección cuidadosa de variables y condiciones reduce, en consecuencia, la probabilidad de tener que repetir por completo el experimento debido a errores de diseño detectados tardíamente. Esta previsión metodológica reduce, en la práctica, la probabilidad de obtener resultados no interpretables al final del proceso experimental.

1.5.4. Organización de procedimientos y secuencias de trabajo

La organización del procedimiento experimental exige establecer una secuencia de pasos que garantice la coherencia entre la hipótesis planteada y los datos que finalmente se recogerán. Ros et al. (2026) señalan que esta organización cumple, dentro del enfoque STEAM, una función adicional a la meramente operativa, pues favorece el trabajo colaborativo al distribuir con claridad las responsabilidades entre los integrantes de un equipo de trabajo. Gil y Rodríguez (2001) advierten que alterar el orden de los pasos definidos en el procedimiento, sin una justificación clara, puede introducir variaciones no controladas que comprometan la comparabilidad de los resultados obtenidos en distintas sesiones de trabajo, incluso cuando las variables medidas sean formalmente las mismas.

Una secuencia de trabajo bien organizada permite, asimismo, identificar con mayor facilidad en qué etapa del proceso pudo haberse introducido un error, facilitando la revisión del procedimiento cuando los resultados obtenidos se apartan de manera significativa de lo esperado. Una secuencia de trabajo bien organizada contempla, además, momentos explícitos de revisión intermedia, en los que se contrasta lo obtenido hasta ese punto con lo previsto en el diseño original, permitiendo introducir ajustes antes de completar la totalidad del procedimiento. Ros et al. (2026) señalan que estos momentos de revisión resultan particularmente valiosos en el trabajo STEAM

colaborativo, pues ofrecen una oportunidad para que distintos integrantes del equipo compartan observaciones que un solo estudiante podría no haber advertido.

Una organización clara del procedimiento facilita, asimismo, que el experimento pueda retomarse tras una interrupción sin perder la coherencia metodológica alcanzada hasta ese momento. Esta disciplina en la organización del trabajo constituye una competencia transferible que trasciende el ámbito específico de la física y las matemáticas experimentales.

1.5.5. Criterios para obtener evidencias confiables

Obtener evidencias confiables exige aplicar criterios explícitos que permitan distinguir un dato bien fundamentado de uno que no lo es. Cano et al. (2011) proponen que la repetición sistemática de las mediciones, junto con la estimación cuidadosa de la incertidumbre asociada a cada una, constituye el criterio más básico y a la vez más exigente para valorar la confiabilidad de la evidencia recogida. Gil y Rodríguez (2001) añaden que la confiabilidad de una evidencia también depende de la calibración adecuada de los instrumentos empleados, pues un instrumento mal calibrado puede producir mediciones consistentes entre sí pero sistemáticamente desviadas del valor real de la magnitud estudiada, error que la sola repetición no permite detectar.

Perales y Aróstegui (2021) sostienen que el trabajo interdisciplinario propio del enfoque STEAM ofrece una instancia adicional de control de calidad, en la medida en que permite someter una misma evidencia a la revisión crítica de perspectivas disciplinares distintas antes de aceptarla como base suficiente para sostener una explicación científica. Los criterios para obtener evidencias confiables deben acompañarse, finalmente, de una actitud de apertura frente a resultados que contradicen lo esperado, pues descartar apresuradamente un dato inconveniente sin examinar primero su

origen constituye una práctica que compromete la integridad del proceso experimental en su conjunto. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan documentar incluso aquellos resultados que no confirman la hipótesis inicial, ya que su análisis cuidadoso suele aportar información tan valiosa como la que ofrecen los resultados esperados.

El conjunto de criterios revisados en esta sección constituye, en definitiva, el fundamento metodológico sobre el que se apoyarán los procedimientos de medición y análisis desarrollados en los capítulos siguientes de este libro. El conjunto de criterios revisados a lo largo de este capítulo ofrece, en síntesis, las bases conceptuales sobre las que se desarrollará el tratamiento sistemático de la medición científica en el capítulo siguiente.



CAPÍTULO 2

Medición Científica y Obtención de Datos Experimentales



Capítulo 2. Medición Científica y Obtención de Datos Experimentales

2.1. Magnitudes, unidades y sistemas de medida

Toda medición científica exige un marco común de magnitudes y unidades que haga comparables los resultados obtenidos por distintos observadores. Esta sección distingue las magnitudes fundamentales de las derivadas, presenta el Sistema Internacional de Unidades como convención de referencia, y desarrolla los procedimientos de conversión, manejo de escalas y notación científica necesarios para registrar mediciones con precisión. La Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, 2019) constituye la fuente normativa central de este apartado, complementada por las recomendaciones prácticas que Gil y Rodríguez (2001) ofrecen para el trabajo experimental escolar.

2.1.1. Magnitudes fundamentales y derivadas

Toda medición científica presupone una distinción conceptual entre magnitudes fundamentales y magnitudes derivadas. La Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, 2019) define las magnitudes fundamentales como aquellas que se consideran independientes entre sí dentro de un sistema de unidades determinado, mientras que las magnitudes derivadas se obtienen a partir de relaciones matemáticas entre las primeras, como ocurre con la velocidad, que resulta del cociente entre longitud y tiempo. Gil y Rodríguez (2001) señalan que comprender esta distinción resulta indispensable antes de iniciar cualquier trabajo experimental sistemático, pues permite reconocer que no todas las magnitudes que intervienen en un fenómeno físico poseen el mismo estatus dentro de la estructura del sistema de medición empleado. Confundir una magnitud derivada con una

fundamental puede conducir a errores conceptuales que después se trasladan a la interpretación de los resultados obtenidos.

En el trabajo experimental STEAM, identificar correctamente si una magnitud es fundamental o derivada facilita, además, anticipar qué unidades le corresponden y qué instrumentos resultan adecuados para medirla, ya que las magnitudes derivadas rara vez se miden de manera directa, sino que se calculan a partir de mediciones de las magnitudes fundamentales que las componen. Esta distinción cobra particular relevancia cuando se diseñan experiencias STEAM que integran varias disciplinas, pues cada área suele privilegiar determinadas magnitudes fundamentales según su tradición conceptual, y hacer explícita esta elección facilita que estudiantes de distintas orientaciones comprendan el lenguaje cuantitativo común que sostiene el trabajo experimental compartido.

El manejo fluido de esta distinción prepara, asimismo, el terreno conceptual para abordar magnitudes derivadas más complejas que se estudiarán en capítulos posteriores, como la energía o la potencia, cuya comprensión depende directamente de dominar previamente las relaciones entre las magnitudes fundamentales que las componen.

Este dominio conceptual constituye, por lo demás, un requisito previo indispensable para el trabajo de medición sistemática que se desarrolla en las secciones siguientes de este mismo capítulo. Conviene, además, que los estudiantes practiquen identificando por sí mismos si una magnitud dada dentro de un problema es fundamental o derivada, ejercicio breve que consolida esta distinción antes de avanzar hacia el trabajo instrumental propiamente dicho.

Tabla 4. Magnitudes fundamentales y derivadas utilizadas en experimentación física

Tipo de magnitud	Ejemplo	Unidad SI
Fundamental	Longitud	metro (m)
Fundamental	Masa	kilogramo (kg)
Fundamental	Tiempo	segundo (s)
Derivada	Velocidad	metro por segundo (m/s)
Derivada	Fuerza	newton ($N = kg \cdot m/s^2$)

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); BIPM (2019).

La tabla ejemplifica la distinción entre magnitudes fundamentales y derivadas dentro del Sistema Internacional, mostrando cómo una magnitud derivada como la fuerza se construye a partir de combinaciones de magnitudes fundamentales como la masa, la longitud y el tiempo. Este ejemplo concreto facilita reconocer el mismo patrón en otras magnitudes físicas que se trabajarán a lo largo del libro.

2.1.2. Sistema Internacional de Unidades

El Sistema Internacional de Unidades constituye el marco de referencia adoptado por la comunidad científica para expresar de manera coherente cualquier magnitud física. La Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, 2019) explica que este sistema se estructura sobre siete unidades básicas, a partir de las cuales se construyen todas las unidades derivadas mediante relaciones matemáticas coherentes, sin necesidad de factores de conversión adicionales. Esta coherencia interna del Sistema Internacional simplifica considerablemente el trabajo experimental, pues evita que quien investiga deba introducir constantes de conversión al combinar magnitudes distintas dentro de una misma fórmula física. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que todo registro experimental exprese sus resultados en unidades del Sistema

Internacional, o que, en caso de emplear otras unidades por razones prácticas, se indique explícitamente la equivalencia correspondiente.

Adoptar el Sistema Internacional de manera consistente a lo largo de un proyecto STEAM facilita, igualmente, la comparación de resultados obtenidos por distintos equipos de trabajo, condición que resulta particularmente valiosa cuando varias secciones de un mismo curso desarrollan experiencias similares y buscan contrastar posteriormente sus hallazgos. Marín-Marín et al. (2021) observan que los proyectos STEAM que adoptan de manera temprana y consistente el Sistema Internacional de Unidades muestran, en la literatura revisada, una menor incidencia de errores de interpretación al comparar resultados entre distintos grupos de trabajo, lo que refuerza la conveniencia de establecerlo como convención obligatoria desde el inicio del curso.

La coherencia interna del Sistema Internacional simplifica, en la práctica docente, la corrección de los reportes experimentales, pues un resultado expresado fuera de dicho sistema exige verificaciones adicionales que consumen tiempo valioso durante la evaluación del trabajo realizado por los estudiantes. La familiaridad con el Sistema Internacional facilita, en última instancia, la transición de los estudiantes hacia contextos académicos y profesionales donde este sistema constituye la norma universalmente aceptada. Cuando un instrumento entrega su lectura en una unidad ajena al Sistema Internacional, resulta buena práctica anotar de inmediato ambas expresiones, la original y su equivalente estandarizado, evitando así confusiones posteriores durante el análisis conjunto de los datos.

2.1.3. Conversión y equivalencia entre unidades

Aun dentro de un sistema coherente como el Sistema Internacional, resulta frecuente que los instrumentos disponibles en un laboratorio escolar entreguen sus lecturas en unidades distintas de las requeridas para un cálculo determinado, lo que exige dominar procedimientos de

conversión precisos. La Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, 2019) documenta los múltiplos y submúltiplos decimales oficialmente reconocidos, cuyo uso correcto evita errores de varios órdenes de magnitud en los resultados finales. Gil y Rodríguez (2001) advierten que buena parte de los errores groseros que se observan en el trabajo experimental escolar no se origina en la medición misma, sino en conversiones de unidades realizadas de manera apresurada o sin verificación posterior, lo que subraya la importancia de tratar esta operación con el mismo rigor que se dedica a la toma de datos.

Verificar la equivalencia entre unidades antes de comunicar un resultado constituye, en consecuencia, una etapa final del proceso de medición que no debe omitirse, especialmente cuando los datos obtenidos habrán de compararse con valores de referencia publicados en fuentes que emplean convenciones de unidades distintas. Practicar conversiones de unidades mediante ejercicios breves, previos a la actividad experimental principal, permite además que los estudiantes automaticen este procedimiento y dediquen su atención durante el experimento a cuestiones de mayor relevancia conceptual, en lugar de emplear ese tiempo en resolver dificultades aritméticas básicas relacionadas con la conversión.

Un error de conversión no detectado a tiempo puede propagarse silenciosamente a lo largo de todo el análisis posterior, por lo que conviene verificar la coherencia de las unidades en cada etapa del cálculo y no únicamente al presentar el resultado final del experimento. Esta disciplina en la conversión de unidades constituye, en definitiva, una competencia matemática básica cuya solidez condiciona directamente la confiabilidad de todo el trabajo experimental posterior. Resulta útil, en este sentido, construir tablas de conversión propias para las magnitudes que se emplearán con mayor frecuencia a lo largo del proyecto STEAM, de modo que la consulta resulte ágil durante el trabajo experimental.

Tabla 5. Equivalencias y conversiones entre unidades de uso frecuente

Magnitud	Unidad de partida	Equivalencia
Longitud	1 kilómetro	1000 metros
Masa	1 gramo	0.001 kilogramos
Tiempo	1 hora	3600 segundos

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); BIPM (2019).

La tabla reúne tres conversiones de uso frecuente en el trabajo experimental escolar, seleccionadas por representar los tres tipos de magnitud discutidos en la subsección anterior. Su función es servir de referencia rápida y, al mismo tiempo, de modelo para que el lector construya sus propias tablas de conversión según las magnitudes específicas que enfrente en cada experiencia.

2.1.4. Escalas y órdenes de magnitud

Trabajar con fenómenos físicos de escalas muy distintas exige desarrollar una comprensión intuitiva de los órdenes de magnitud involucrados, competencia que permite anticipar si un resultado obtenido resulta razonable antes incluso de revisarlo con detalle. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que, antes de realizar una medición, se estime de manera aproximada el orden de magnitud esperado del resultado, ejercicio que facilita detectar posteriormente errores groseros en la lectura o en el cálculo. Esta estimación previa resulta particularmente relevante en experiencias STEAM que combinan escalas físicas muy diferentes dentro de un mismo proyecto, como ocurre cuando se comparan fenómenos microscópicos con fenómenos macroscópicos, situación en la que confundir el orden de magnitud correspondiente puede conducir a interpretaciones completamente erróneas del fenómeno estudiado.

El manejo de escalas también exige reconocer que un mismo instrumento no resulta igualmente adecuado para medir magnitudes de órdenes muy distintos, por lo que seleccionar el instrumento apropiado a la escala del fenómeno constituye una decisión que antecede y condiciona la calidad de toda la medición posterior. El desarrollo de esta intuición sobre órdenes de magnitud se beneficia, adicionalmente, de ejercicios de estimación previa en los que los estudiantes predicen, antes de medir, un rango razonable para el resultado esperado, práctica que Gil y Rodríguez (2001) recomiendan como parte habitual del trabajo experimental introductorio.

Esta capacidad de estimación previa resulta, además, una herramienta valiosa fuera del contexto estrictamente escolar, pues permite a cualquier persona valorar de manera crítica cifras que encuentra en medios de comunicación o en fuentes de información no especializadas. El manejo fluido de órdenes de magnitud constituye, así, una herramienta de verificación rápida que todo estudiante debería incorporar como hábito permanente de trabajo científico. Contrastar la estimación previa con el valor efectivamente medido, y discutir abiertamente las discrepancias encontradas, convierte este ejercicio en una oportunidad de aprendizaje adicional sobre la naturaleza del fenómeno estudiado.

2.1.5. Notación científica en el registro de mediciones

La notación científica ofrece una forma compacta y estandarizada de expresar magnitudes cuyo valor numérico resulta demasiado grande o demasiado pequeño para registrarse cómodamente en notación decimal convencional. OpenStax (2016) señala que esta notación no constituye únicamente una conveniencia de escritura, sino que además facilita identificar con precisión el número de cifras significativas que efectivamente respaldan una medición determinada.

En el trabajo experimental STEAM, emplear consistentemente la notación científica evita errores de transcripción que resultan frecuentes cuando se manejan magnitudes con muchos ceros, ya sea en la escala atómica o en la escala astronómica, y facilita además las operaciones aritméticas posteriores que se requieren para combinar distintas magnitudes medidas.

Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que el registro experimental adopte la notación científica desde el primer momento de la toma de datos, y no únicamente al momento de presentar los resultados finales, práctica que reduce la probabilidad de errores acumulados durante los cálculos intermedios del análisis. El dominio de la notación científica facilita, igualmente, la comunicación de resultados en contextos STEAM que combinan datos de disciplinas distintas, donde las magnitudes manejadas pueden diferir en varios órdenes de magnitud según se trate de escalas propias de la física, la química o la biología involucradas en un mismo proyecto.

Practicar la notación científica en contextos variados, alternando magnitudes muy grandes y muy pequeñas, fortalece la flexibilidad matemática necesaria para transitar sin dificultad entre las distintas escalas que suelen aparecer en un mismo proyecto STEAM de carácter interdisciplinario. Esta competencia en notación científica prepara, adicionalmente, el terreno para el tratamiento estadístico más formal de los datos que se abordará en el tercer capítulo del libro. Introducir la notación científica desde edades tempranas, con ejemplos progresivamente más exigentes, evita que su aprendizaje se perciba como un obstáculo técnico aislado del resto del trabajo experimental desarrollado en el aula.

2.2. Instrumentos y procedimientos de medición

La calidad de una medición depende tanto del instrumento empleado como del procedimiento seguido para utilizarlo. Esta sección aborda los criterios para seleccionar un instrumento según la magnitud estudiada, la relación entre resolución, sensibilidad y rango, la importancia de la calibración periódica, y los protocolos de lectura y registro que reducen la variabilidad entre observadores. Se incluye, además, el papel creciente de las tecnologías digitales en la captura de datos, cuyo uso responsable exige mantener los mismos criterios de rigor que Gil y Rodríguez (2001) recomiendan para la instrumentación.

2.2.1. Selección del instrumento según la magnitud estudiada

Seleccionar el instrumento adecuado para una medición determinada exige considerar simultáneamente la magnitud que se desea medir, el rango de valores esperado y la precisión que el problema experimental requiere. Gil y Rodríguez (2001) advierten que emplear un instrumento cuya resolución resulta insuficiente para el fenómeno estudiado produce datos que, aunque numéricamente consistentes, no permiten distinguir variaciones relevantes en el comportamiento del sistema. Esta selección debe realizarse antes de iniciar la recolección de datos, pues modificar el instrumento a mitad de un experimento introduce una fuente adicional de variabilidad que dificulta la comparación entre las mediciones realizadas con uno y otro dispositivo. Cano et al. (2011) subrayan que esta decisión temprana forma parte integral del diseño experimental y no debe tratarse como un aspecto meramente logístico.

En contextos STEAM, la selección del instrumento se ve además condicionada por la disponibilidad de recursos tecnológicos en el aula, lo que exige a los docentes anticipar alternativas de medición que, sin sacrificar el rigor metodológico, resulten viables dentro de las condiciones reales del centro educativo. La documentación explícita

de los criterios empleados para seleccionar cada instrumento permite, además, que otros equipos de trabajo comprendan y eventualmente repliquen las decisiones metodológicas adoptadas, favoreciendo la transparencia que caracteriza al trabajo científico riguroso.

Una selección de instrumentos bien justificada constituye, además, un criterio de evaluación pertinente para valorar la calidad metodológica de un proyecto STEAM, más allá de la corrección numérica de los resultados finalmente obtenidos. Esta reflexión sobre la selección instrumental cierra, en consecuencia, la primera etapa del proceso de medición, que da paso a los procedimientos específicos de lectura y registro descritos a continuación. Conviene, asimismo, que los estudiantes justifiquen por escrito su elección de instrumento antes de iniciar la medición, práctica breve que fortalece la reflexión metodológica previa a la recolección de datos.

Tabla 6. Selección de instrumentos según la magnitud y el rango de medición

Magnitud a medir	Instrumento recomendado	Consideración principal
Longitud pequeña	Calibrador o pie de rey	Resolución milimétrica o submilimétrica
Masa	Balanza digital	Verificar calibración periódica
Intervalo de tiempo	Cronómetro digital	Tiempo de reacción del observador

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Cano et al. (2011).

La tabla vincula tres magnitudes físicas comunes con el instrumento recomendado para medirlas y una consideración práctica que condiciona su uso adecuado. Este formato de tres columnas, magnitud, instrumento y consideración, ofrece una plantilla que puede extenderse a otras magnitudes no incluidas aquí, siguiendo el mismo criterio de selección desarrollado en esta subsección.

2.2.2. Resolución, sensibilidad y rango instrumental

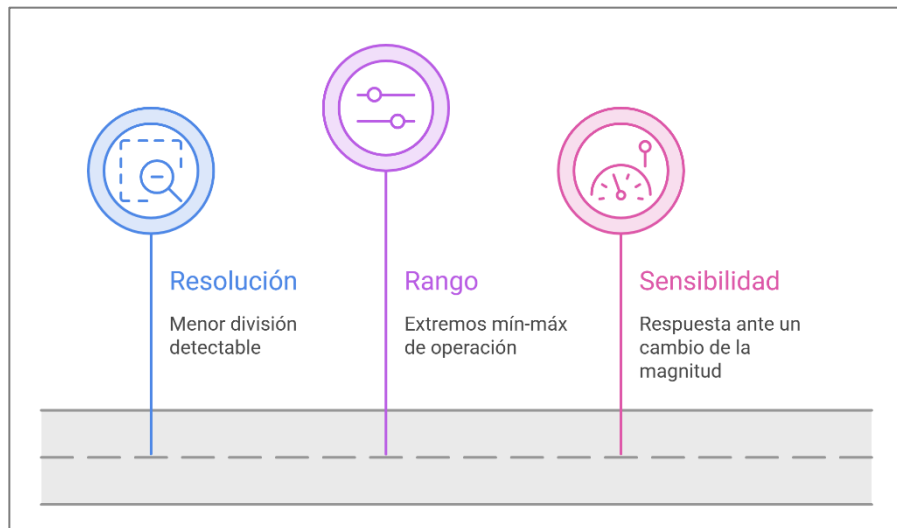
La resolución de un instrumento indica la menor variación de la magnitud medida que dicho instrumento es capaz de detectar, característica que determina directamente el número de cifras significativas que puede aportar una medición. Gil y Rodríguez (2001) distinguen esta resolución de la sensibilidad del instrumento, entendida como la respuesta que este produce ante un cambio determinado en la magnitud medida, distinción que suele generar confusión en el trabajo experimental escolar. El rango instrumental, por su parte, define los valores extremos entre los cuales el instrumento ofrece lecturas confiables, y operar fuera de ese rango compromete la validez de los datos obtenidos, aun cuando el instrumento continúe entregando una lectura numérica. Cano et al. (2011) recomiendan verificar, antes de iniciar el experimento, que el rango esperado de la magnitud estudiada se encuentre efectivamente dentro del rango operativo del instrumento seleccionado.

Comprender la relación entre resolución, sensibilidad y rango permite, en consecuencia, anticipar las limitaciones propias de cada instrumento antes de interpretar sus lecturas como representaciones exactas del fenómeno físico estudiado. Comprender estas propiedades instrumentales permite, asimismo, anticipar qué tipo de incertidumbre dominará el resultado final, distinción que orienta decisiones posteriores sobre si conviene invertir esfuerzo adicional en mejorar el instrumento o en aumentar el número de repeticiones de la medición.

La comprensión de estas propiedades instrumentales evita, igualmente, que los estudiantes atribuyan a un fenómeno físico variaciones que en realidad se originan en las limitaciones propias del instrumento empleado para observarlo. El dominio de estos conceptos instrumentales resulta indispensable antes de avanzar hacia el tratamiento formal de la incertidumbre que se desarrolla en la tercera

sección de este capítulo. Ilustrar estos conceptos con instrumentos concretos disponibles en el aula, comparando explícitamente su resolución y su rango, ayuda a que la distinción teórica se traduzca en un criterio práctico de selección.

Figura 4. Resolución, sensibilidad y rango en instrumentos de medición



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Cano et al. (2011).

La figura distingue visualmente los tres conceptos desarrollados en esta subsección, resolución, sensibilidad y rango, mostrando cómo cada uno delimita un aspecto distinto de la capacidad de un instrumento para producir mediciones confiables. Comprender esta distinción evita que un instrumento se emplee fuera de las condiciones bajo las cuales sus lecturas resultan interpretables.

2.2.3. Calibración y verificación de equipos

La calibración de un instrumento consiste en comparar sus lecturas con un patrón de referencia confiable, procedimiento que permite corregir posibles desviaciones sistemáticas antes de emplear dicho

instrumento en un experimento formal. El Comité Conjunto para las Guías en Metrología (JCGM, 2008) enfatiza que un instrumento no calibrado puede introducir errores sistemáticos que ninguna repetición de la medición, por numerosa que sea, permite detectar ni corregir. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan verificar la calibración de los instrumentos empleados en el trabajo experimental escolar con una frecuencia razonable, especialmente cuando se trata de dispositivos sometidos a uso intensivo por distintos grupos de estudiantes, situación en la que el desgaste o la manipulación inadecuada pueden alterar su exactitud original.

Documentar el estado de calibración de cada instrumento empleado en un proyecto STEAM constituye, además, una práctica que fortalece la trazabilidad de los resultados obtenidos, permitiendo justificar posteriormente por qué un determinado conjunto de datos merece mayor o menor confianza que otro. La verificación periódica de la calibración se ve facilitada, en contextos escolares, por el uso de patrones de referencia sencillos y accesibles, como masas certificadas o longitudes patrón, cuya comparación regular con los instrumentos de uso cotidiano permite detectar desviaciones antes de que afecten resultados experimentales relevantes.

Registrar la fecha y el resultado de cada verificación de calibración permite, con el tiempo, construir un historial que facilita anticipar cuándo un instrumento determinado requerirá mantenimiento o reemplazo antes de que su desviación afecte de manera significativa los resultados obtenidos. Una cultura institucional de calibración periódica fortalece, en definitiva, la confiabilidad general del trabajo experimental desarrollado a lo largo de todo el programa educativo. Involucrar a los propios estudiantes en el proceso de verificación de calibración, bajo supervisión docente, refuerza además su comprensión de por qué esta etapa resulta indispensable y no meramente burocrática.

2.2.4. Lectura y registro sistemático de valores

La lectura de un instrumento de medición exige un procedimiento sistemático que minimice errores de apreciación, particularmente en instrumentos analógicos donde la posición del observador puede introducir un error de paralaje. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan establecer, antes de iniciar la toma de datos, un protocolo común de lectura que todos los integrantes de un equipo de trabajo sigan de manera consistente. El registro sistemático de los valores obtenidos debe realizarse de manera inmediata a cada medición, evitando confiar en la memoria para transcribir los datos posteriormente, práctica que introduce un riesgo considerable de errores de transcripción. Cano et al. (2011) señalan que este registro inmediato debe incluir, además del valor medido, cualquier observación relevante sobre las condiciones particulares en que se realizó esa medición específica.



Un registro sistemático y completo facilita, igualmente, la revisión posterior del procedimiento cuando se detectan resultados anómalos, pues permite rastrear con precisión en qué momento del experimento pudo haberse originado una desviación inesperada respecto del comportamiento general de los datos. Adoptar formatos de registro estandarizados, ya sea en formato físico o digital, facilita

adicionalmente que distintos integrantes de un equipo de trabajo interpreten de la misma manera la información recopilada, reduciendo ambigüedades que podrían surgir de registros individuales con criterios distintos.

Un protocolo de lectura consistente reduce, adicionalmente, la variabilidad introducida por distintos observadores dentro de un mismo equipo de trabajo, variabilidad que de otro modo podría confundirse erróneamente con una fuente adicional de incertidumbre del fenómeno estudiado. Esta disciplina de registro constituye, en síntesis, uno de los hábitos más valiosos que el trabajo experimental escolar puede cultivar en los estudiantes desde etapas tempranas. Revisar en conjunto, al finalizar cada sesión, los registros elaborados por distintos equipos permiten detectar tempranamente discrepancias en el protocolo de lectura que conviene uniformar antes de continuar con el experimento.

2.2.5. Tecnologías digitales para la captura de datos

Las tecnologías digitales han ampliado considerablemente la capacidad de capturar datos experimentales con mayor frecuencia y precisión que los métodos manuales tradicionales. Marín-Marín et al. (2021) documentan un crecimiento sostenido de propuestas STEAM que incorporan sensores y dispositivos digitales para la captura automática de magnitudes físicas, tendencia que refleja la progresiva integración de estas herramientas en el trabajo experimental escolar. Ros et al. (2026) advierten, sin embargo, que la captura digital de datos no elimina la necesidad de comprender los principios de medición subyacentes, pues un sensor mal configurado puede producir grandes volúmenes de datos aparentemente precisos pero sistemáticamente erróneos, error que resulta más difícil de detectar precisamente por la apariencia de exactitud que ofrece la tecnología digital.

La integración de estas tecnologías en el aula exige, en consecuencia, formar a los estudiantes tanto en el manejo técnico de los dispositivos

como en la interpretación crítica de los datos que estos producen, de modo que la automatización de la captura no sustituya la comprensión conceptual del proceso de medición. La combinación de sensores digitales con hojas de cálculo u otras herramientas de procesamiento permite, además, automatizar parcialmente el análisis de los datos capturados, siempre que dicha automatización se acompañe de una revisión crítica periódica que confirme la coherencia de los valores procesados.

El uso responsable de tecnologías digitales de captura constituye, en definitiva, una competencia que trasciende el ámbito escolar y que resulta cada vez más relevante en contextos profesionales donde la toma de decisiones se apoya en grandes volúmenes de datos automatizados. El equilibrio entre tecnología y comprensión conceptual constituye, en definitiva, uno de los ejes formativos centrales de la propuesta metodológica que sostiene este libro. Comparar, cuando sea posible, una misma magnitud medida simultáneamente de forma manual y mediante un sensor digital ofrece una oportunidad valiosa para discutir las ventajas y limitaciones específicas de cada método.

2.3. Precisión, exactitud e incertidumbre

Precisión, exactitud e incertidumbre constituyen los tres conceptos centrales para valorar la calidad de un resultado experimental. Esta sección distingue estos términos con precisión conceptual, identifica las fuentes de incertidumbre presentes en una medición, diferencia los errores aleatorios de los sistemáticos, y desarrolla las reglas de cifras significativas y propagación de incertidumbres necesarias para expresar correctamente un resultado. El Comité Conjunto para las Guías en Metrología (JCGM, 2008) ofrece el marco normativo internacional que sustenta este tratamiento, aplicado aquí al contexto específico de la experimentación física escolar.

2.3.1. Diferencias entre precisión y exactitud

Precisión y exactitud constituyen conceptos distintos que suelen confundirse en el lenguaje cotidiano, confusión que resulta problemática en el trabajo experimental riguroso. OpenStax (2016) define la exactitud como la cercanía de una medición al valor verdadero o aceptado de la magnitud medida, mientras que la precisión se refiere a la cercanía entre distintas mediciones repetidas de una misma magnitud, independientemente de si dichas mediciones se acercan o no al valor real. Un conjunto de mediciones puede resultar, en consecuencia, muy preciso sin ser exacto, si todas las lecturas se agrupan de manera consistente en torno a un valor alejado del verdadero, situación característica de un error sistemático no corregido. Gil y Rodríguez (2001) ilustran esta distinción con el uso de instrumentos descalibrados, que producen resultados reproducibles entre sí pero desviados del valor de referencia.

Distinguir correctamente entre estos dos conceptos permite interpretar con mayor precisión conceptual la calidad de un resultado experimental, evitando conclusiones apresuradas basadas únicamente en la consistencia aparente de un conjunto de mediciones repetidas. Reconocer esta diferencia conceptual resulta particularmente formativo cuando se discuten casos reales en los que instrumentos aparentemente confiables, por su consistencia interna, resultan sin embargo inexactos debido a un sesgo sistemático no detectado a tiempo por quienes los emplean.

La claridad conceptual en torno a estos términos facilita, igualmente, la lectura crítica de especificaciones técnicas de instrumentos comerciales, en las que ambos conceptos suelen reportarse de manera separada y con un lenguaje técnico específico. Esta distinción conceptual constituye, en definitiva, la base sobre la que se apoya el tratamiento más detallado de las fuentes de incertidumbre desarrollado a continuación. Proponer ejercicios en los que los

estudiantes clasifiquen ejemplos concretos según si reflejan un problema de precisión, de exactitud o de ambos simultáneamente, consolida la comprensión práctica de esta distinción conceptual.

Tabla 7. Diferencias entre precisión y exactitud en resultados experimentales

Situación	Precisión	Exactitud
Instrumento bien calibrado y estable	Alta	Alta
Instrumento descalibrado pero estable	Alta	Baja
Instrumento con fallas aleatorias	Baja	Variable

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); OpenStax (2016).

La tabla contrasta tres situaciones instrumentales, combinando de manera sistemática alta y baja precisión con alta y baja exactitud, para mostrar que ambos conceptos son independientes entre sí. Un instrumento descalibrado pero estable, por ejemplo, puede ofrecer alta precisión sin alta exactitud, distinción que resulta central para interpretar correctamente cualquier resultado experimental.

2.3.2. Fuentes de incertidumbre en una medición

La incertidumbre asociada a una medición proviene de múltiples fuentes que conviene identificar de manera explícita antes de reportar un resultado experimental. El Comité Conjunto para las Guías en Metrología (JCGM, 2008) enumera, entre estas fuentes, la resolución limitada del instrumento, la incertidumbre del patrón de referencia empleado en su calibración, las variaciones de las condiciones ambientales y la propia definición del mensurando estudiado. Cano et al. (2011) señalan que identificar estas fuentes de manera sistemática, en lugar de estimar la incertidumbre de forma global e imprecisa,

permite además orientar los esfuerzos de mejora del procedimiento experimental hacia aquellas fuentes que efectivamente contribuyen de manera significativa a la incertidumbre total del resultado.

En el trabajo escolar, reconocer estas fuentes de incertidumbre también cumple una función formativa relevante, pues enseña a los estudiantes que ninguna medición resulta perfecta y que la ciencia experimental trabaja, precisamente, con esa imperfección reconocida y cuantificada. La identificación explícita de fuentes de incertidumbre favorece, igualmente, una cultura de trabajo experimental más rigurosa, en la que documentar las limitaciones del propio procedimiento se valora tanto como documentar los resultados numéricos obtenidos durante el experimento.

Documentar estas fuentes de incertidumbre en el reporte final del experimento permite, además, que futuros equipos de trabajo que aborden un fenómeno similar puedan anticipar y eventualmente reducir las mismas limitaciones identificadas previamente. El reconocimiento sistemático de estas fuentes prepara, adicionalmente, el terreno para distinguir con precisión entre errores aleatorios y sistemáticos, distinción que se aborda en la subsección siguiente. Elaborar, junto con los estudiantes, un listado propio de las fuentes de incertidumbre presentes en un experimento particular constituye un ejercicio formativo que traslada la teoría general hacia el caso concreto trabajado en el aula.

2.3.3. Errores aleatorios y sistemáticos

Los errores aleatorios y los errores sistemáticos afectan de manera distinta la calidad de un resultado experimental y requieren, en consecuencia, estrategias diferentes para su tratamiento. OpenStax (2016) explica que los errores aleatorios producen dispersión en las mediciones repetidas de una misma magnitud, dispersión que puede

reducirse mediante el promedio de un número suficiente de observaciones. Los errores sistemáticos, por el contrario, desplazan de manera consistente todas las mediciones en una misma dirección, por lo que ningún promedio de repeticiones permite corregirlos, ya que su origen no está en la variabilidad aleatoria sino en un sesgo estructural del instrumento o del procedimiento. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan identificar posibles fuentes de error sistemático mediante la comparación con métodos de medición independientes.

Distinguir entre ambos tipos de error orienta, en consecuencia, decisiones metodológicas distintas: frente a errores aleatorios conviene aumentar el número de mediciones, mientras que frente a errores sistemáticos resulta necesario revisar y corregir el procedimiento o el instrumento empleado. Distinguir entre estos dos tipos de error prepara, además, a los estudiantes para interpretar de manera crítica reportes científicos externos, en los que la magnitud y el tipo de error declarado condicionan directamente la confianza que puede depositarse en las conclusiones presentadas.

La representación gráfica del comportamiento de ambos tipos de error facilita, considerablemente, su reconocimiento visual inmediato, competencia que resulta particularmente útil cuando se analizan conjuntos de datos extensos obtenidos mediante captura digital automatizada. Esta capacidad de distinción entre tipos de error constituye, en síntesis, una competencia central del pensamiento científico riguroso aplicado al trabajo de medición. Analizar casos históricos conocidos en los que un error sistemático no detectado condujo a conclusiones erróneas ofrece, además, un contexto motivador para comprender la relevancia práctica de esta distinción conceptual.

Figura 5. Comportamiento de errores aleatorios y sistemáticos en una serie de mediciones



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); OpenStax (2016).

La figura ilustra la diferencia de comportamiento entre errores aleatorios, que dispersan las mediciones alrededor de un valor central, y errores sistemáticos, que las desplazan de manera consistente en una misma dirección. Esta distinción visual refuerza por qué ambos tipos de error exigen estrategias de corrección distintas, tal como se explica en el texto de esta subsección.

2.3.4. Cifras significativas y expresión de resultados

Las cifras significativas indican qué dígitos de una medición se conocen con certeza razonable, convención que evita transmitir una precisión mayor a la que realmente respalda el instrumento empleado. OpenStax (2016) establece reglas específicas para determinar el número de cifras significativas que debe conservarse al realizar operaciones aritméticas con cantidades medidas, reglas que difieren según se trate de sumas, restas, multiplicaciones o divisiones. Gil y Rodríguez (2001) advierten

que expresar un resultado con más cifras de las que la incertidumbre experimental justifica constituye un error frecuente en el trabajo escolar, error que transmite una falsa sensación de exactitud y que puede inducir a interpretaciones erróneas sobre la calidad real del dato reportado.

La expresión adecuada de un resultado experimental debe, en consecuencia, acompañar siempre el valor medido con su incertidumbre correspondiente, expresada con un número de cifras significativas coherente con la precisión efectivamente alcanzada durante el proceso de medición. El manejo correcto de las cifras significativas constituye, adicionalmente, una competencia transferible a otras disciplinas científicas y técnicas, en las que la comunicación precisa de resultados numéricos resulta igualmente indispensable para la toma de decisiones fundamentadas.

Esta disciplina en el manejo de cifras significativas se refuerza mediante la corrección sistemática de los reportes experimentales, de modo que los estudiantes reciban retroalimentación específica sobre este aspecto en cada actividad de medición que realizan a lo largo del curso. El manejo correcto de las cifras significativas constituye, en definitiva, la culminación práctica del tratamiento conceptual de la incertidumbre desarrollado a lo largo de esta sección. Revisar colectivamente ejemplos de resultados mal expresados, identificando el error específico en el número de cifras significativas empleado, resulta una estrategia didáctica eficaz para consolidar esta convención.

2.3.5. Propagación de incertidumbres en operaciones matemáticas

Cuando un resultado experimental se obtiene a partir de operaciones matemáticas entre distintas magnitudes medidas, la incertidumbre de cada una de ellas se combina para determinar la incertidumbre del

resultado final, proceso que se conoce como propagación de incertidumbres. El Comité Conjunto para las Guías en Metrología (JCGM, 2008) establece los procedimientos formales para calcular esta propagación, tanto en operaciones simples como en relaciones funcionales más complejas entre variables. Cano et al. (2011) muestran, con ejemplos de mediciones indirectas en experiencias de mecánica, cómo la incertidumbre final de una magnitud calculada suele resultar mayor que la incertidumbre individual de cada magnitud medida directamente, lo que refuerza la importancia de reducir, en lo posible, la incertidumbre de las mediciones de entrada.

Comprender la propagación de incertidumbres permite, en definitiva, anticipar qué mediciones del proceso experimental requieren mayor cuidado, pues son precisamente aquellas cuya incertidumbre individual contribuye de manera más significativa a la incertidumbre del resultado final. Practicar la propagación de incertidumbres con ejemplos progresivamente más complejos permite que los estudiantes internalicen este procedimiento como parte natural del análisis de datos, en lugar de percibirlo como un cálculo adicional desconectado del sentido físico del experimento realizado. El dominio de la propagación de incertidumbres resulta, en definitiva, indispensable para cualquier trabajo experimental que combine múltiples mediciones directas en el cálculo de una magnitud derivada de interés final.

Esta competencia en propagación de incertidumbres cierra, en consecuencia, el tratamiento formal de la precisión y la exactitud que se ha desarrollado en la presente sección del capítulo. Resolver progresivamente ejemplos de propagación de incertidumbre, desde operaciones simples hasta combinaciones más complejas de magnitudes, permite que los estudiantes construyan confianza en el procedimiento antes de aplicarlo a sus propios datos.

Tabla 8. Propagación de incertidumbres en operaciones matemáticas básicas

Operación	Regla de propagación
Suma o resta	Se suman las incertidumbres absolutas
Multipliación o división	Se suman las incertidumbres relativas
Potencia de exponente n	La incertidumbre relativa se multiplica por n

Nota. Elaboración propia con base en Cano et al. (2011); JCGM (2008).

La tabla resume las reglas básicas de propagación de incertidumbre para las operaciones aritméticas más frecuentes en el trabajo experimental: suma o resta, multiplicación o división, y potencia. Estas reglas permiten calcular la incertidumbre de una magnitud derivada a partir de las incertidumbres de las magnitudes medidas directamente, procedimiento indispensable siempre que un resultado final se obtiene mediante cálculo y no por medición directa.

2.4. Organización de datos procedentes de experimentos

Los datos recolectados durante un experimento solo resultan interpretables cuando se organizan de manera sistemática. Esta sección desarrolla la tabulación de observaciones, la clasificación de datos según su naturaleza, la construcción de series experimentales bien distribuidas, y las representaciones gráficas que permiten identificar tendencias y anomalías antes de proceder a un análisis matemático más formal. Martín-Cudero (2024) destaca que esta organización constituye un puente indispensable entre la recolección de datos y el pensamiento matemático que se desarrollará con mayor profundidad en el tercer capítulo de este libro.

2.4.1. Tabulación de observaciones y mediciones

Organizar los datos experimentales en tablas constituye un paso indispensable para su análisis posterior, pues permite visualizar de manera ordenada la relación entre las distintas variables registradas durante el experimento. Martín-Cudero (2024) señala que la calidad de esta tabulación influye directamente en la facilidad con que posteriormente se identifican patrones o irregularidades en el comportamiento de los datos. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que cada tabla de datos incluya, de manera explícita, las unidades de cada magnitud registrada y la incertidumbre asociada a cada medición, información que con frecuencia se omite en el trabajo escolar y cuya ausencia dificulta la interpretación correcta de los resultados por parte de terceros.

Una tabulación cuidadosa facilita, además, la detección temprana de errores de registro, pues permite comparar visualmente el comportamiento de cada medición con el de las mediciones vecinas, comparación que resulta mucho más difícil de realizar cuando los datos permanecen dispersos en anotaciones no organizadas. Emplear plantillas de tabulación previamente diseñadas, con columnas claramente etiquetadas para cada magnitud y su incertidumbre, reduce considerablemente el riesgo de omitir información relevante durante la recolección de datos en el trabajo de campo o de laboratorio.

Una tabla de datos bien construida constituye, además, un documento que por sí solo comunica gran parte del rigor metodológico del experimento realizado, incluso antes de que se presente cualquier análisis matemático posterior de la información recopilada. Esta disciplina de tabulación constituye, en definitiva, el punto de partida indispensable para el análisis organizado de los datos que se desarrolla en el resto de esta sección. Revisar en clase ejemplos de tablas mal elaboradas, identificando colectivamente la información faltante,

refuerza de manera práctica los criterios de una tabulación experimental completa y bien organizada.

Tabla 9. Organización estructurada de observaciones y mediciones experimentales

N.º de medición	Valor registrado	Condición observada
1	(valor ± incertidumbre)	Condición inicial estándar
2	(valor ± incertidumbre)	Repetición en igual condición
3	(valor ± incertidumbre)	Condición modificada deliberadamente

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Martín-Cudero (2024).

La tabla propone un formato de registro que documenta, para cada medición, el valor obtenido junto con su incertidumbre y las condiciones específicas bajo las cuales se realizó. Este formato responde directamente a la recomendación, discutida en esta subsección, de no separar el dato numérico de las circunstancias en que fue obtenido.

2.4.2. Clasificación de datos según su naturaleza

Los datos obtenidos durante un experimento pueden clasificarse según distintos criterios, entre ellos su naturaleza cuantitativa o cualitativa, su carácter continuo o discreto, y su origen directo o derivado. Martín-Cudero (2024) sostiene que reconocer explícitamente esta clasificación orienta la selección posterior de las herramientas matemáticas y estadísticas adecuadas para su análisis. Gil y Rodríguez (2001) advierten que tratar datos de naturaleza distinta con las mismas herramientas de análisis constituye un error metodológico frecuente, pues una variable discreta y una variable continua, por ejemplo,

requieren representaciones gráficas y medidas de resumen diferentes para reflejar adecuadamente su comportamiento.

Esta clasificación previa de los datos facilita, igualmente, anticipar qué tipo de relaciones matemáticas resulta razonable buscar entre las variables estudiadas, evitando aplicar de manera automática procedimientos de ajuste que solo resultan válidos para determinado tipo de datos. Esta clasificación previa de los datos orienta, igualmente, la elección posterior de las medidas de resumen estadístico más adecuadas, pues una variable de naturaleza discreta se describe de manera distinta a una variable continua, aun cuando ambas puedan expresarse mediante valores numéricos.

Esta atención a la naturaleza de los datos evita, igualmente, errores conceptuales frecuentes, como calcular un promedio aritmético sobre una variable de naturaleza categórica, para la cual dicho promedio carece de sentido físico interpretable. Esta clasificación cuidadosa prepara, adicionalmente, el terreno conceptual para la construcción de series experimentales bien fundamentadas, tema que se aborda en la subsección siguiente. Proponer ejercicios breves de clasificación de datos, extraídos de experiencias previas del curso, ayuda a que los estudiantes reconozcan con mayor agilidad la naturaleza de las variables que manejan habitualmente.

2.4.3. Construcción de series experimentales

Una serie experimental consiste en un conjunto ordenado de mediciones obtenidas bajo condiciones sistemáticamente variadas, estructura que permite estudiar cómo responde una magnitud ante cambios controlados en otra. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan planificar la serie completa antes de iniciar la recolección de datos, definiendo con anticipación cuántos puntos se medirán y en qué

intervalos de la variable independiente. Esta planificación previa evita que la serie experimental resulte desigualmente distribuida, concentrando mediciones en una región del rango estudiado y dejando otras regiones prácticamente sin explorar, desequilibrio que puede sesgar la interpretación posterior de la relación entre las variables.

Cano et al. (2011) señalan que una serie experimental bien construida facilita, además, distinguir con mayor claridad si una relación observada entre variables se mantiene constante a lo largo de todo el rango estudiado, o si por el contrario se modifica en algún tramo particular de dicho rango. La construcción cuidadosa de series experimentales favorece, además, la posterior aplicación de métodos de ajuste matemático, pues un conjunto de puntos distribuido de manera razonablemente uniforme a lo largo del rango estudiado ofrece una base más sólida para dicho ajuste que un conjunto de puntos irregularmente espaciado.

Una serie experimental cuidadosamente construida facilita, en consecuencia, distinguir con mayor confianza entre el comportamiento genuino del fenómeno estudiado y la simple dispersión aleatoria propia de cualquier proceso de medición. El dominio de esta construcción sistemática de series constituye, en síntesis, una competencia indispensable para el análisis gráfico que se desarrolla a continuación. Planificar en conjunto, antes de medir, cuántos puntos conformarán la serie experimental y en qué valores de la variable independiente se ubicarán, traslada la teoría de esta subsección a una decisión concreta del proyecto.

2.4.4. Representaciones gráficas de variables

Representar gráficamente los datos obtenidos en una serie experimental facilita reconocer visualmente relaciones que no siempre

resultan evidentes a partir de la sola inspección de una tabla numérica. Martín-Cudero (2024) destaca que esta representación gráfica constituye, en el trabajo STEAM, un punto de encuentro natural entre el pensamiento matemático y la interpretación física del fenómeno estudiado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan incluir en cada gráfico las barras de incertidumbre correspondientes a cada punto medido, práctica que permite valorar visualmente si las variaciones observadas entre distintos puntos resultan significativas o si, por el contrario, se encuentran dentro del margen de incertidumbre experimental.

La elección cuidadosa de la escala, los ejes y el tipo de gráfico empleado condiciona, en consecuencia, la interpretación que se hace del comportamiento de las variables, por lo que estas decisiones deben tomarse con el mismo rigor que se aplica a la medición misma de los datos representados. El desarrollo de esta competencia representacional se fortalece cuando los estudiantes tienen oportunidad de construir sus propios gráficos a partir de datos que ellos mismos han recolectado, en lugar de limitarse a interpretar gráficos ya elaborados por terceros.

La revisión conjunta de gráficos elaborados por distintos equipos de trabajo, dentro de una misma sesión de clase, ofrece además una oportunidad valiosa para discutir colectivamente las decisiones de representación adoptadas por cada grupo. Esta competencia representacional constituye, en definitiva, el puente entre la organización de los datos y la identificación de patrones que cierra esta sección del capítulo. Comparar gráficos elaborados con distintas escalas a partir de un mismo conjunto de datos permite discutir de manera concreta cómo la elección de representación puede modificar la interpretación visual de una misma relación.

2.4.5. Identificación preliminar de tendencias y anomalías

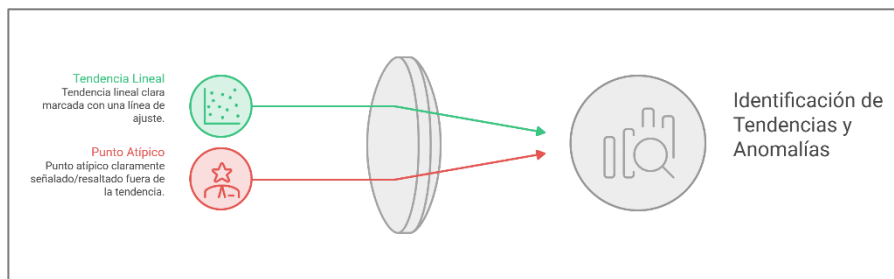
Una vez organizados y representados los datos experimentales, corresponde examinarlos en busca de tendencias generales y de posibles anomalías que se aparten de dicho comportamiento general. Ros et al. (2026) señalan que esta identificación preliminar de patrones constituye un componente central del razonamiento científico dentro del marco STEAM-5E, en la medida en que orienta las etapas posteriores de análisis matemático más formal. Gil y Rodríguez (2001) advierten que una anomalía detectada en los datos no debe descartarse automáticamente como un error de medición, sino que merece una revisión cuidadosa que permita determinar si responde a un problema del procedimiento experimental o si, por el contrario, revela un aspecto genuino del fenómeno estudiado que no había sido anticipado.

Esta identificación preliminar de tendencias y anomalías prepara, en consecuencia, el terreno para el tratamiento matemático más riguroso de los datos que se desarrollará en el tercer capítulo de este libro, dedicado específicamente a los métodos de análisis cuantitativo. Esta búsqueda de tendencias y anomalías se beneficia, adicionalmente, del trabajo colaborativo, pues distintos observadores suelen advertir aspectos diferentes de un mismo conjunto de datos, enriqueciendo así la interpretación colectiva del comportamiento observado.

Documentar por escrito las hipótesis iniciales sobre el origen de una anomalía detectada permite, posteriormente, contrastar dichas hipótesis con evidencia adicional recogida en experimentos de seguimiento diseñados específicamente para ese propósito. Esta capacidad de identificación preliminar cierra, en consecuencia, el tratamiento de la organización de datos que se ha desarrollado a lo largo de la presente sección. Documentar en una bitácora compartida las tendencias y anomalías observadas a lo largo del proyecto facilita

retomar esta información en etapas posteriores del análisis, evitando depender únicamente de la memoria del equipo.

Figura 6. Identificación visual de tendencias y anomalías en datos experimentales



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Ros et al. (2026).

La figura representa cómo una tendencia general en los datos puede identificarse visualmente al mismo tiempo que se detecta un punto que se aparta de dicho comportamiento. Esta doble lectura, reconocer el patrón dominante y detectar la excepción, constituye la habilidad central que esta subsección busca desarrollar antes de proceder a un análisis estadístico más formal.

2.5. Calidad y confiabilidad de la información obtenida

Cerrar el proceso de medición exige valorar explícitamente la calidad de la información obtenida. Esta sección desarrolla los criterios de repetibilidad y reproducibilidad, el tratamiento riguroso de los valores atípicos, y la comparación razonada entre resultados experimentales y valores de referencia disponibles en la literatura. El Comité Conjunto para las Guías en Metrología (JCGM, 2008) ofrece un marco integrador para estos criterios, que Gil y Rodríguez (2001) traducen en recomendaciones concretas para documentar la confiabilidad de un resultado experimental en el trabajo escolar.

2.5.1. Repetibilidad de las mediciones

La repetibilidad se refiere al grado de concordancia entre mediciones sucesivas de una misma magnitud, realizadas bajo las mismas condiciones, con el mismo instrumento y por el mismo observador. El Comité Conjunto para las Guías en Metrología (JCGM, 2008) considera la repetibilidad como uno de los indicadores básicos para estimar la componente aleatoria de la incertidumbre de una medición. Cano et al. (2011) recomiendan evaluar la repetibilidad de un procedimiento experimental antes de emplearlo de manera sistemática en un proyecto de mayor duración, pues una repetibilidad deficiente señala la necesidad de revisar el protocolo de medición antes de invertir tiempo adicional en la recolección de datos.

En el trabajo escolar STEAM, evaluar la repetibilidad de las mediciones cumple además una función formativa relevante, al mostrar a los estudiantes de manera concreta que la dispersión observada entre mediciones sucesivas constituye información valiosa y no un simple defecto que deba ocultarse en el reporte final. Evaluar la repetibilidad exige, en la práctica, realizar un número suficiente de mediciones sucesivas bajo condiciones cuidadosamente controladas, número que Cano et al. (2011) sugieren no debería ser inferior a un puñado de repeticiones para obtener una estimación mínimamente confiable de la dispersión aleatoria.

Una repetibilidad deficiente detectada a tiempo permite ajustar el procedimiento experimental antes de que el proyecto avance hacia etapas posteriores, evitando así invertir esfuerzo considerable en datos cuya calidad resulta, desde el inicio, cuestionable. Esta evaluación de la repetibilidad constituye, en definitiva, el primer criterio de calidad que se integra en el análisis más amplio desarrollado en el resto de esta sección final. Comparar la dispersión obtenida en distintas sesiones de medición de una misma magnitud ofrece una oportunidad concreta

para discutir qué factores del procedimiento podrían explicar variaciones en la repetibilidad observada.

2.5.2. Reproducibilidad bajo distintas condiciones

La reproducibilidad, a diferencia de la repetibilidad, evalúa la concordancia entre mediciones de una misma magnitud realizadas bajo condiciones distintas, ya sea con observadores diferentes, instrumentos diferentes o en momentos distintos. El Comité Conjunto para las Guías en Metrología (JCGM, 2008) señala que esta evaluación resulta más exigente que la simple repetibilidad, pues incorpora fuentes de variación adicionales que no se manifiestan cuando un mismo observador repite la medición en condiciones idénticas. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que, siempre que sea posible, un mismo experimento se replique con instrumentos o equipos de trabajo distintos, práctica que permite valorar la reproducibilidad de los resultados y que fortalece considerablemente la confianza que puede depositarse en las conclusiones obtenidas.

En proyectos STEAM colaborativos, la comparación de resultados obtenidos por distintos equipos que abordan el mismo fenómeno ofrece una oportunidad natural para evaluar esta reproducibilidad, siempre que las diferencias metodológicas entre los equipos se documenten con suficiente detalle. Evaluar la reproducibilidad exige, adicionalmente, una coordinación previa entre los equipos de trabajo involucrados, de modo que las diferencias en el procedimiento empleado por cada uno queden documentadas con precisión suficiente para interpretar correctamente las diferencias observadas en los resultados.

La reproducibilidad evaluada de manera sistemática constituye, en definitiva, uno de los indicadores más exigentes y a la vez más informativos sobre la solidez metodológica de un procedimiento experimental determinado. El dominio de este criterio de

reproducibilidad prepara, adicionalmente, el terreno para el tratamiento de los valores atípicos que se aborda en la subsección siguiente. Organizar una puesta en común entre equipos que midieron el mismo fenómeno con procedimientos ligeramente distintos convierte la evaluación de la reproducibilidad en una actividad colaborativa y reflexiva del curso.

2.5.3. Detección y tratamiento de valores atípicos

Un valor atípico es aquel que se aparta de manera notable del comportamiento general del conjunto de datos, y su presencia exige un análisis cuidadoso antes de decidir si debe conservarse o excluirse del análisis posterior. Cano et al. (2011) advierten que excluir un dato únicamente porque resulta inconveniente para la hipótesis planteada constituye una práctica que compromete gravemente la honestidad del proceso experimental. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan documentar siempre las circunstancias particulares en que se obtuvo un valor atípico, información que puede revelar si su origen se encuentra en un error identificable del procedimiento o si, por el contrario, refleja una variación genuina del fenómeno que merece investigarse con mayor profundidad.

La decisión de excluir un valor atípico del análisis final debe, en consecuencia, fundamentarse en criterios explícitos y documentados, y no en la simple conveniencia de obtener un resultado más cercano a lo esperado. El tratamiento riguroso de los valores atípicos contribuye, en consecuencia, a una cultura de honestidad científica en la que la conveniencia de un resultado nunca debe primar sobre la fidelidad al proceso experimental efectivamente realizado.

Un criterio explícito y documentado para el tratamiento de valores atípicos protege, además, al equipo de trabajo frente a cuestionamientos posteriores sobre la selección arbitraria de los datos finalmente incluidos en el análisis. Esta disciplina en el tratamiento de

valores atípicos constituye, en síntesis, un componente indispensable de la evaluación integral de la calidad de los datos experimentales. Discutir casos límite, en los que resulta genuinamente difícil decidir si un valor debe considerarse atípico, ayuda a que los estudiantes comprendan que esta decisión exige criterio razonado y no una regla mecánica única.

2.5.4. Comparación entre resultados observados y valores de referencia

Contrastar los resultados obtenidos en un experimento escolar con valores de referencia reportados en fuentes confiables permite valorar, de manera adicional, la calidad del procedimiento empleado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que esta comparación considere no solo la cercanía numérica entre ambos valores, sino también si dicha diferencia resulta compatible con la incertidumbre experimental estimada. OpenStax (2016) señala que una discrepancia entre el valor medido y el valor de referencia que supere ampliamente la incertidumbre reportada constituye una señal clara de que el procedimiento experimental requiere revisión, ya sea por errores sistemáticos no identificados o por una estimación demasiado optimista de la incertidumbre.

Esta comparación con valores de referencia debe realizarse, sin embargo, con prudencia, reconociendo que dichos valores también poseen su propia incertidumbre y que las condiciones bajo las cuales fueron obtenidos pueden diferir de las condiciones del experimento escolar realizado. Esta comparación con valores de referencia resulta, además, una oportunidad pedagógica valiosa para introducir a los estudiantes en el uso de fuentes bibliográficas confiables, competencia que trasciende el ámbito específico de la medición experimental.

Complementar la comparación numérica con una discusión cualitativa sobre las posibles razones de cualquier discrepancia observada enriquece, considerablemente, la interpretación final de los resultados obtenidos por el equipo de trabajo. Esta práctica de contrastación con valores de referencia constituye, en definitiva, un criterio adicional que enriquece la valoración global de la consistencia de los resultados obtenidos. Buscar en conjunto, dentro de fuentes bibliográficas confiables, el valor de referencia correspondiente a la magnitud estudiada convierte esta comparación en un ejercicio adicional de alfabetización científica para los estudiantes.

Tabla 10. Comparación entre valores experimentales y valores de referencia

Magnitud	Valor experimental	Valor de referencia
Aceleración de la gravedad	$(g \pm \text{incertidumbre}) \text{ m/s}^2$	9.81 m/s^2
Densidad del material estudiado	$(\rho \pm \text{incertidumbre}) \text{ g/cm}^3$	Valor tabulado de referencia

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); OpenStax (2016).

La tabla ejemplifica, con dos magnitudes físicas de uso frecuente en el laboratorio escolar, cómo debe presentarse la comparación entre un resultado experimental y su valor de referencia aceptado. Incluir la incertidumbre junto al valor medido permite valorar si la diferencia observada resulta significativa o si es compatible con el margen de error del procedimiento empleado.

2.5.5. Criterios para valorar la consistencia de los datos

Valorar la consistencia general de un conjunto de datos experimentales exige integrar los distintos criterios revisados a lo largo de este capítulo: la repetibilidad de las mediciones, su reproducibilidad bajo condiciones distintas, el tratamiento adecuado de valores atípicos y la

comparación razonada con valores de referencia disponibles. El Comité Conjunto para las Guías en Metrología (JCGM, 2008) ofrece un marco formal para integrar estos criterios en una estimación global de la calidad de un resultado experimental. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que esta valoración de consistencia se documente explícitamente en el reporte final del experimento, en lugar de darse por sobreentendida, de modo que cualquier persona que revise el trabajo pueda comprender sobre qué bases se sostiene la confianza depositada en los resultados presentados.

El dominio de estos criterios de consistencia constituye, en definitiva, la base metodológica indispensable para el tratamiento matemático más avanzado de los datos experimentales que se desarrollará en el tercer capítulo de este libro. La integración sistemática de estos criterios de consistencia constituye, en definitiva, el fundamento sobre el cual se apoyará el análisis matemático más formal de los datos experimentales que se desarrolla en el capítulo siguiente de este libro.

Esta valoración integral de la consistencia de los datos constituye, en síntesis, una competencia central del pensamiento científico que trasciende ampliamente el ámbito específico de la física y las matemáticas experimentales. El conjunto de criterios desarrollados a lo largo de este capítulo ofrece, en síntesis, las bases metodológicas necesarias para abordar con rigor el análisis matemático de fenómenos físicos que se desarrolla en el capítulo siguiente. Cerrar cada proyecto experimental con una discusión explícita sobre la consistencia general de los datos obtenidos, retomando cada uno de los criterios revisados en esta sección, consolida su aplicación práctica más allá de la teoría.



CAPÍTULO 3

Métodos Matemáticos para el Análisis de Fenómenos Físicos



Capítulo 3. Métodos Matemáticos para el Análisis de Fenómenos Físicos

3.1. Tratamiento cuantitativo de datos

El análisis matemático de un experimento comienza por resumir cuantitativamente el comportamiento de los datos obtenidos. Esta sección desarrolla las medidas de tendencia central y de dispersión, el examen de la distribución y frecuencia de las mediciones, y los criterios para comparar cuantitativamente distintos conjuntos de datos y leer críticamente los resultados numéricos presentados. Baird (1991) constituye la referencia central de este tratamiento estadístico aplicado específicamente al contexto de la experimentación física.

3.1.1. Medidas de tendencia central en resultados experimentales

Las medidas de tendencia central permiten resumir, mediante un único valor representativo, el comportamiento general de un conjunto de mediciones repetidas de una misma magnitud. Baird (1991) recomienda emplear el promedio aritmético como mejor estimación de una magnitud física cuando los errores que afectan las mediciones son predominantemente aleatorios, pues dicho promedio tiende a compensar las desviaciones que se producen en ambos sentidos respecto del valor verdadero. Gil y Rodríguez (2001) advierten, sin embargo, que el promedio no siempre constituye la medida más adecuada cuando el conjunto de datos incluye valores atípicos que distorsionan su valor, situación en la que conviene considerar también la mediana como medida complementaria menos sensible a observaciones extremas.

La elección de la medida de tendencia central apropiada exige, en consecuencia, examinar previamente la forma general del conjunto de datos, decisión que condiciona directamente la interpretación

posterior del resultado experimental reportado como valor representativo del fenómeno estudiado. Discutir en clase por qué el promedio resulta apropiado en unas circunstancias y no en otras ayuda a que los estudiantes comprendan que la estadística descriptiva no se reduce a fórmulas mecánicas, sino que exige criterio contextual sobre la naturaleza de los datos disponibles.

Baird (1991) recuerda, además, que ninguna medida de tendencia central sustituye la necesidad de examinar directamente el conjunto completo de datos antes de aceptar un valor resumido como representativo del fenómeno estudiado. Este dominio conceptual constituye, en definitiva, el fundamento estadístico básico sobre el que se apoyará el resto del tratamiento cuantitativo desarrollado en la presente sección del capítulo. Proponer a los estudiantes que calculen manualmente el promedio y la mediana de un mismo conjunto de datos, comparando después ambos resultados, ofrece una forma concreta de vivenciar por qué la elección de la medida importa. Esta base estadística acompañará, de manera transversal, buena parte de los procedimientos matemáticos desarrollados en las secciones posteriores de este mismo capítulo.

Tabla 11. Medidas de tendencia central aplicadas a resultados experimentales

Medida	Definición operativa	Uso recomendado
Media aritmética	Suma de valores dividida entre el número de mediciones	Errores predominantemente aleatorios
Mediana	Valor central al ordenar las mediciones	Presencia de valores atípicos
Moda	Valor que se repite con mayor frecuencia	Datos discretos o categóricos

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Baird (1991).

La tabla distingue la media, la mediana y la moda según su definición operativa y el contexto en que cada una resulta más apropiada, retomando directamente el criterio de selección discutido en esta subsección. La columna de uso recomendado busca orientar una decisión que, de otro modo, suele aplicarse de manera mecánica sin considerar la naturaleza específica de los datos.

3.1.2. Dispersión y variabilidad de las observaciones

La dispersión de un conjunto de mediciones complementa la información que ofrece la medida de tendencia central, al indicar qué tan alejados se encuentran los valores individuales respecto de dicho valor representativo. Baird (1991) presenta la desviación estándar como el indicador más utilizado para cuantificar esta dispersión, calculado a partir de las diferencias entre cada medición individual y el promedio del conjunto. Cano et al. (2011) señalan que una desviación estándar pequeña, en relación con el valor promedio, sugiere una buena repetibilidad del procedimiento experimental, mientras que una desviación estándar comparativamente grande señala la presencia de una variabilidad que conviene investigar antes de aceptar el resultado como suficientemente confiable.

Reportar tanto la medida de tendencia central como su dispersión asociada constituye, en definitiva, una práctica indispensable para comunicar de manera completa la calidad de un conjunto de datos experimentales, evitando presentar un único valor que oculte la variabilidad real de las observaciones realizadas. Visualizar la dispersión mediante un gráfico de puntos, junto con el valor promedio señalado explícitamente, ofrece una forma intuitiva de comunicar esta variabilidad a públicos que no necesariamente dominan el cálculo formal de la desviación estándar.

Una dispersión inesperadamente grande, detectada tempranamente durante la recolección de datos, ofrece una señal temprana para

revisar el procedimiento experimental antes de completar la totalidad de las mediciones planificadas. El manejo conjunto de tendencia central y dispersión constituye, en síntesis, el par de herramientas descriptivas más básico e indispensable de todo el análisis cuantitativo de datos experimentales.

Comparar la dispersión de dos conjuntos de mediciones obtenidos con instrumentos de distinta calidad permite ilustrar de manera tangible cómo la elección del instrumento, discutida en el capítulo anterior, repercute directamente en este indicador estadístico. Conviene, además, registrar tanto el valor central como su dispersión en cada reporte experimental, sin excepción, como práctica estándar del trabajo científico.

Tabla 12. Indicadores de dispersión para evaluar la variabilidad de las mediciones

Indicador	Qué expresa	Relación con la incertidumbre
Rango	Diferencia entre el valor máximo y el mínimo	Estimación rápida y poco robusta
Desviación estándar	Dispersión promedio respecto a la media	Base habitual de la incertidumbre tipo A
Varianza	Cuadrado de la desviación estándar	Útil en la propagación estadística

Nota. Elaboración propia con base en Cano et al. (2011); Baird (1991).

La tabla presenta el rango, la desviación estándar y la varianza como tres indicadores de dispersión con distinto nivel de robustez y distinta relación con la incertidumbre experimental. Su inclusión conjunta permite comparar estos indicadores entre sí y reconocer por qué la desviación estándar constituye, en la práctica, el más utilizado en el trabajo experimental.

3.1.3. Distribución de datos y frecuencia

Examinar cómo se distribuyen los valores obtenidos en un conjunto de mediciones repetidas permite reconocer patrones que una simple lista de datos no revela con la misma claridad. OpenStax (2016) explica que, en presencia de errores predominantemente aleatorios, las mediciones repetidas de una misma magnitud tienden a agruparse siguiendo una distribución aproximadamente simétrica alrededor del valor central. Construir una tabla o un gráfico de frecuencias a partir de mediciones repetidas facilita identificar visualmente si esta distribución se ajusta al comportamiento esperado, o si por el contrario presenta asimetrías que podrían señalar la presencia de algún factor sistemático no controlado durante el experimento.

Baird (1991) recomienda examinar la distribución de los datos antes de aplicar procedimientos estadísticos más avanzados, pues varios de estos procedimientos asumen implícitamente una distribución particular, y su aplicación resulta inapropiada cuando los datos reales se apartan significativamente de dicho supuesto. Comparar la distribución de frecuencias obtenida experimentalmente con la forma esperada teóricamente constituye, además, un ejercicio valioso para introducir a los estudiantes en el razonamiento estadístico aplicado a la física experimental.

Reconocer visualmente una distribución asimétrica en los datos recolectados puede, en ocasiones, revelar información física relevante sobre el fenómeno estudiado, más allá de constituir simplemente una imperfección del procedimiento de medición. Esta atención a la distribución de los datos prepara, adicionalmente, el terreno conceptual para la comparación cuantitativa entre distintos conjuntos de mediciones que se aborda en la subsección siguiente.

Elaborar un histograma sencillo a partir de mediciones repetidas de una misma magnitud constituye una actividad accesible que introduce a los

estudiantes en el análisis de frecuencias sin requerir herramientas estadísticas avanzadas. Esta práctica de examinar la distribución completa de los datos, y no solo su resumen numérico, evita conclusiones apresuradas basadas en información parcial.

3.1.4. Comparación cuantitativa entre conjuntos de mediciones

Comparar dos conjuntos distintos de mediciones, obtenidos bajo condiciones diferentes o mediante procedimientos distintos, exige considerar simultáneamente sus valores centrales y su dispersión respectiva, en lugar de limitarse a contrastar únicamente los promedios obtenidos. Cano et al. (2011) advierten que dos promedios numéricamente distintos pueden resultar, sin embargo, compatibles entre sí cuando se toma en cuenta la incertidumbre asociada a cada uno. Baird (1991) propone examinar si los intervalos de incertidumbre de ambos conjuntos se superponen como criterio inicial para valorar si la diferencia observada resulta significativa o si, por el contrario, podría explicarse simplemente por la variabilidad propia del proceso de medición.

Esta comparación cuantitativa cuidadosa resulta particularmente relevante en proyectos STEAM donde distintos equipos de trabajo miden el mismo fenómeno bajo condiciones ligeramente diferentes, situación en la que una interpretación apresurada de las diferencias numéricas podría conducir a conclusiones erróneas sobre el fenómeno estudiado. Esta comparación cuidadosa entre conjuntos de datos prepara, igualmente, a los estudiantes para valorar de manera crítica afirmaciones cuantitativas que encuentran fuera del contexto escolar, donde diferencias numéricas pequeñas a veces se presentan como hallazgos significativos sin sustento estadístico adecuado.

Baird (1991) subraya que esta comparación cuantitativa cuidadosa distingue el trabajo científico riguroso de conclusiones apresuradas basadas en diferencias numéricas que, examinadas con detalle,

resultan estadísticamente poco concluyentes. El dominio de esta comparación cuantitativa constituye, en definitiva, una competencia central para el trabajo colaborativo entre distintos equipos que investigan un mismo fenómeno físico.

Plantear preguntas orientadoras, como si la diferencia observada entre dos equipos resultaría razonable considerando la incertidumbre de cada uno, ayuda a estructurar esta comparación de manera didáctica y progresiva. Una comparación bien fundamentada entre conjuntos de datos distintos fortalece, en consecuencia, la calidad general de las conclusiones alcanzadas por el equipo de trabajo.

3.1.5. Lectura crítica de resultados numéricos

Interpretar críticamente un resultado numérico exige ir más allá de aceptar el valor reportado como un dato aislado, para preguntarse por el procedimiento que lo generó, la incertidumbre que lo acompaña y la coherencia que guarda con el conjunto más amplio de conocimientos disponibles sobre el fenómeno estudiado. Baird (1991) insiste en que esta lectura crítica constituye una competencia central del pensamiento científico maduro. Martín-Cudero (2024) señala que fomentar esta lectura crítica desde etapas escolares tempranas contribuye a formar personas capaces de valorar con criterio propio la abundante información cuantitativa que circula en distintos ámbitos de la vida cotidiana, más allá del contexto específico del laboratorio escolar.

Esta competencia interpretativa se fortalece, en consecuencia, cuando el trabajo experimental exige justificar explícitamente por qué un resultado numérico particular merece o no la confianza depositada en él, en lugar de limitarse a su cálculo mecánico. Esta lectura crítica se fortalece, adicionalmente, cuando se contrastan resultados obtenidos por el propio equipo de trabajo con los reportados por otros equipos que estudiaron el mismo fenómeno bajo condiciones comparables.

El desarrollo de esta lectura crítica constituye, en definitiva, uno de los aportes formativos más duraderos que el trabajo con datos experimentales puede ofrecer a los estudiantes, más allá del contenido específico de la física estudiada. Esta lectura crítica cierra, en consecuencia, el tratamiento cuantitativo de datos desarrollado en la presente sección, que da paso al análisis gráfico abordado en la sección siguiente. Pedir a los estudiantes que justifiquen por escrito su nivel de confianza en un resultado propio, antes de compararlo con valores de referencia, fomenta una reflexión metacognitiva valiosa sobre la calidad de su propio trabajo. Cultivar esta lectura crítica desde el trabajo experimental escolar constituye una inversión formativa cuyo valor se extiende mucho más allá del aula de física.

3.2. Representación gráfica del comportamiento físico

Representar gráficamente los datos experimentales permite reconocer relaciones que una tabla numérica difícilmente revela con la misma claridad. Esta sección aborda la selección de variables para construir un gráfico, la elección entre escalas lineales y no lineales, la interpretación física de la pendiente, los procedimientos de interpolación y el reconocimiento de patrones visuales que anticipan el tipo de relación funcional presente en los datos. Martín-Cudero (2024) subraya que este tránsito entre representaciones constituye uno de los aprendizajes matemáticos más transferibles del trabajo STEAM desarrollado en este libro.

3.2.1. Selección de variables para la construcción de gráficos

Construir un gráfico adecuado exige decidir con anticipación qué magnitudes se representarán en cada eje, decisión que debe responder a la relación que se investiga y no a una convención arbitraria. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan situar la variable independiente en el eje

horizontal y la variable dependiente en el eje vertical, convención que facilita la interpretación física del gráfico resultante. Obando, Vasco y Arboleda (2014) señalan que esta selección adecuada de variables constituye un ejercicio de pensamiento matemático por derecho propio, pues exige reconocer con precisión cuál magnitud responde a los cambios de la otra dentro del fenómeno estudiado, distinción que ya fue abordada en el primer capítulo de este libro. Una selección apropiada de variables facilita, además, que el gráfico resultante comunique de manera directa la relación física investigada, sin requerir explicaciones adicionales extensas para que un lector pueda interpretar correctamente su significado.

Etiquetar cuidadosamente cada eje, indicando tanto la magnitud representada como su unidad correspondiente, evita ambigüedades que podrían dificultar la interpretación del gráfico por parte de otras personas ajenas al equipo que lo elaboró. Gil y Rodríguez (2001) advierten que invertir los ejes convencionales, sin una justificación explícita, puede generar confusiones innecesarias al interpretar posteriormente la pendiente del gráfico resultante. Esta selección cuidadosa de variables constituye, en definitiva, el punto de partida indispensable para cualquier representación gráfica que se elabore a lo largo del proyecto experimental. Revisar colectivamente gráficos con variables intercambiadas erróneamente entre los ejes ofrece una oportunidad concreta para discutir las consecuencias interpretativas de esta decisión aparentemente técnica. Una decisión bien justificada sobre qué variable ocupa cada eje evita reinterpretaciones erróneas del gráfico en etapas posteriores del análisis.

3.2.2. Escalas lineales y no lineales

La elección entre una escala lineal y una escala no lineal, como la escala logarítmica, condiciona directamente la forma en que se visualiza una relación entre magnitudes físicas. OpenStax (2016)

explica que las escalas logarítmicas resultan particularmente útiles cuando los datos abarcan varios órdenes de magnitud, situación en la que una escala lineal comprimiría excesivamente los valores menores del conjunto. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan explorar ambos tipos de escala cuando no resulta evidente a priori qué tipo de relación matemática vincula las variables estudiadas, pues una relación que aparece curva en escala lineal puede convertirse en una línea recta al representarse en escala logarítmica, revelando así su naturaleza exponencial o potencial.

Esta exploración de distintas escalas constituye, en consecuencia, una herramienta diagnóstica valiosa para identificar el tipo de relación funcional presente en los datos, tema que se desarrollará con mayor profundidad en la tercera sección de este capítulo. Practicar la construcción de un mismo conjunto de datos tanto en escala lineal como en escala logarítmica permite que los estudiantes desarrollen sensibilidad visual para reconocer cuándo cada tipo de escala resulta más informativa.

Esta exploración comparada de escalas distintas fortalece, adicionalmente, la flexibilidad matemática de los estudiantes frente a representaciones gráficas que encontrarán en contextos científicos y técnicos fuera del aula escolar. El dominio de ambos tipos de escala constituye, en síntesis, una herramienta diagnóstica que se retomará explícitamente al estudiar las relaciones funcionales en la sección siguiente de este capítulo.

Proponer a los estudiantes que identifiquen, entre varios conjuntos de datos, cuáles se beneficiarían de una escala logarítmica constituye un ejercicio de discernimiento que consolida esta competencia práctica. Explorar distintas escalas gráficas constituye, en la práctica, una herramienta exploratoria rápida y económica antes de emprender un ajuste matemático más formal.

3.2.3. Pendiente e interpretación de tasas de cambio

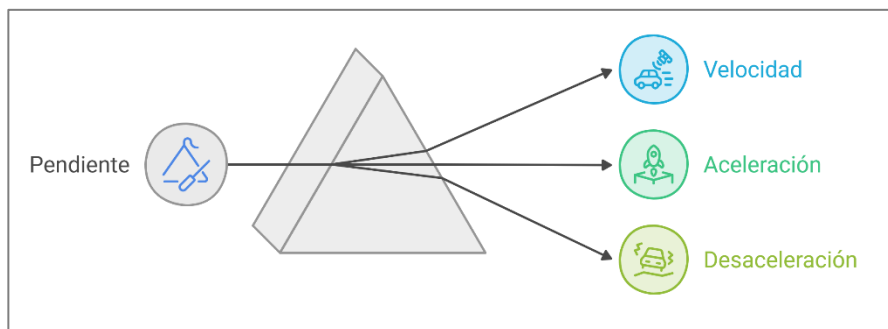
La pendiente de una gráfica que relaciona dos magnitudes físicas ofrece información directa sobre la tasa de cambio de la variable dependiente respecto de la independiente, interpretación que trasciende su significado puramente geométrico. Gil y Rodríguez (2001) muestran, con ejemplos de movimiento rectilíneo, cómo la pendiente de un gráfico de posición contra tiempo corresponde precisamente a la velocidad del objeto estudiado. Obando, Vasco y Arboleda (2014) destacan que interpretar correctamente el significado físico de una pendiente exige un nivel de comprensión matemática que trasciende el simple cálculo mecánico de dicha pendiente a partir de dos puntos del gráfico, pues requiere vincular ese valor numérico con la magnitud física que representa dentro del fenómeno estudiado.

Esta interpretación se enriquece, además, cuando se comparan las pendientes obtenidas en distintas regiones de un mismo gráfico, comparación que puede revelar cambios en el comportamiento del fenómeno que una lectura superficial del gráfico completo no permitiría advertir con la misma claridad. Calcular la pendiente en distintos tramos de un mismo gráfico y discutir el significado físico de sus diferencias constituye un ejercicio que profundiza considerablemente la comprensión conceptual de la tasa de cambio estudiada. Gil y Rodríguez (2001) destacan que interpretar una pendiente negativa exige el mismo cuidado conceptual que una pendiente positiva, pues ambas comunican información física relevante sobre la dirección del cambio estudiado.

Esta interpretación física de la pendiente constituye, en definitiva, uno de los aprendizajes más transferibles de esta sección hacia el estudio de relaciones funcionales que se desarrolla a continuación. Relacionar explícitamente el signo de la pendiente con el sentido físico del cambio observado, ya sea un aumento o una disminución de la magnitud

estudiada, refuerza la conexión entre matemática y fenómeno físico. Interpretar correctamente la pendiente en cada contexto físico particular evita errores conceptuales que podrían trasladarse a etapas posteriores del análisis matemático.

Figura 7. Interpretación física de la pendiente y las tasas de cambio



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Obando, Vasco y Arboleda (2014).

La figura conecta el valor numérico de una pendiente con su significado físico concreto, mostrando cómo una misma operación matemática, el cálculo de una tasa de cambio, adquiere sentidos distintos según la magnitud representada en cada eje. Esta conexión visual refuerza la idea, desarrollada en el texto, de que interpretar una pendiente exige siempre remitirla al fenómeno físico que describe.

3.2.4. Interpolación y estimación entre valores conocidos

La interpolación permite estimar el valor de una magnitud en un punto intermedio no medido directamente, a partir de los valores conocidos que lo rodean dentro del conjunto de datos experimentales. Baird (1991) advierte que esta estimación resulta razonable únicamente dentro del rango efectivamente medido, y que extenderla más allá de dicho rango constituye una extrapolación cuya validez no está

garantizada por los datos disponibles. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan emplear la interpolación con prudencia, verificando siempre que el comportamiento de los datos en la región donde se interpola resulte razonablemente uniforme, pues cambios abruptos en el comportamiento del fenómeno podrían invalidar una estimación interpolada de manera simplista.

Esta distinción entre interpolación y extrapolación refuerza, en consecuencia, la importancia de reconocer con precisión los alcances y límites de un resultado experimental, tema que ya fue abordado desde una perspectiva conceptual en el primer capítulo de este libro. Marcar explícitamente en el gráfico el rango de valores efectivamente medido ayuda a distinguir visualmente la región donde la interpolación resulta razonable de aquella donde cualquier estimación constituiría una extrapolación no respaldada. Baird (1991) señala que comunicar explícitamente, en cualquier reporte experimental, si un valor presentado corresponde a una interpolación o a una extrapolación constituye una práctica de honestidad metodológica que rara vez se aplica con suficiente rigor.

El manejo prudente de la interpolación constituye, en síntesis, una competencia que se articula directamente con el análisis de residuos que se abordará en la cuarta sección de este capítulo. Diseñar ejercicios en los que los estudiantes deban decidir si una estimación solicitada corresponde a una interpolación válida o a una extrapolación arriesgada consolida esta distinción de manera práctica y aplicada. Distinguir con claridad interpolación de extrapolación previene conclusiones sobrevaloradas respecto de lo que los datos disponibles realmente permiten afirmar.

3.2.5. Reconocimiento de patrones mediante representaciones visuales

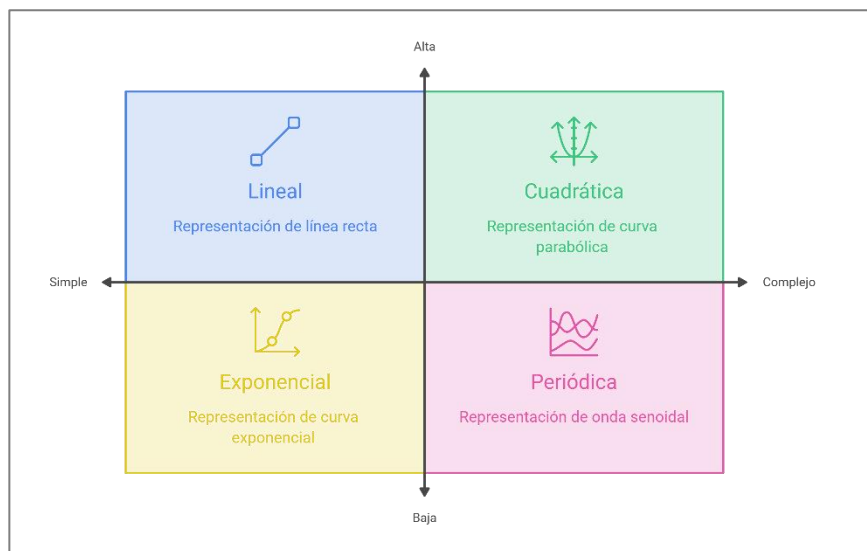
Las representaciones visuales de los datos experimentales facilitan el reconocimiento de patrones que una inspección puramente numérica de una tabla difícilmente revelaría con la misma inmediatez. Ros et al. (2026) destacan que este reconocimiento visual de patrones constituye un componente central del razonamiento científico dentro del marco STEAM-5E, en la medida en que orienta la formulación de hipótesis sobre el tipo de relación matemática presente en los datos. Martín-Cudero (2024) señala que desarrollar esta habilidad de reconocimiento visual requiere exposición reiterada a distintos tipos de gráficos, de modo que los estudiantes aprendan a asociar formas visuales características, como una línea recta, una curva parabólica o una oscilación periódica, con el tipo de relación matemática que las genera.

Este reconocimiento de patrones prepara, en consecuencia, el terreno conceptual para la sección siguiente de este capítulo, dedicada específicamente al estudio de las relaciones funcionales que vinculan distintas magnitudes físicas entre sí. Organizar actividades en las que los estudiantes deban asociar gráficos desconocidos con el tipo de fenómeno físico que probablemente los generó refuerza, de manera lúdica, esta capacidad de reconocimiento visual de patrones. Ros et al. (2026) señalan que esta capacidad de reconocimiento visual, una vez consolidada, acelera considerablemente el proceso de análisis exploratorio de nuevos conjuntos de datos experimentales.

Esta capacidad de reconocimiento visual cierra, en consecuencia, el tratamiento de la representación gráfica desarrollado en la presente sección, preparando el análisis de relaciones funcionales que sigue. Organizar galerías breves donde cada equipo presente su gráfico y explique el patrón identificado fomenta el intercambio de estrategias

de interpretación visual entre distintos grupos de trabajo. El reconocimiento visual de patrones, cultivado de manera sistemática, acelera considerablemente el trabajo de análisis en proyectos STEAM posteriores.

Figura 8. Reconocimiento de patrones a partir de representaciones gráficas



Nota. Elaboración propia con base en Martín-Cudero (2024); Ros et al. (2026).

La figura reúne formas visuales características, línea recta, curva parabólica y oscilación periódica, asociadas a los distintos tipos de relación funcional que se desarrollan en la sección siguiente de este capítulo. Su propósito es entrenar el reconocimiento visual inmediato de estos patrones antes de abordar su tratamiento matemático formal.

3.3. Relaciones funcionales entre variables

Identificar la relación funcional que vincula dos magnitudes físicas constituye un paso central del análisis matemático de un fenómeno.

Esta sección recorre las relaciones lineales, cuadráticas, exponenciales y periódicas más frecuentes en fenómenos físicos escolares, junto con los criterios para seleccionar la expresión matemática que mejor describe un conjunto de datos determinado. Gil y Rodríguez (2001) ilustran cada uno de estos comportamientos con ejemplos concretos de mecánica, termodinámica y oscilaciones que se retoman en el capítulo final de este libro.

3.3.1. Dependencia lineal entre magnitudes

Una relación lineal entre dos magnitudes físicas se caracteriza porque su representación gráfica corresponde a una línea recta, cuya ecuación queda determinada por su pendiente y su ordenada en el origen. Gil y Rodríguez (2001) señalan que numerosos fenómenos físicos elementales, como el movimiento rectilíneo uniforme o la relación entre fuerza y elongación en un resorte dentro de su rango elástico, presentan este tipo de dependencia lineal. Obando, Vasco y Arboleda (2014) advierten que reconocer una relación lineal en los datos experimentales exige verificar que dicha relación se mantenga a lo largo de todo el rango estudiado, pues una linealidad aparente en una porción reducida de los datos no garantiza que el comportamiento completo del fenómeno resulte igualmente lineal.

El reconocimiento correcto de una dependencia lineal constituye, en consecuencia, el punto de partida para el ajuste por mínimos cuadrados que se desarrollará con mayor detalle en la cuarta sección de este capítulo. Verificar la linealidad mediante el cálculo de la pendiente en distintos segmentos del conjunto de datos ofrece una comprobación adicional, más rigurosa que la simple inspección visual del gráfico completo. Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que incluso fenómenos aproximadamente lineales pueden mostrar desviaciones sistemáticas en los extremos del rango estudiado, desviaciones que

conviene examinar antes de generalizar la relación lineal a todo el dominio de interés.

El reconocimiento de esta dependencia lineal constituye, en definitiva, el caso más sencillo y a la vez más instructivo de las relaciones funcionales estudiadas a lo largo de esta sección. Proponer contraejemplos de relaciones que parecen lineales en un tramo reducido, pero que no lo son en un rango más amplio, refuerza la prudencia necesaria antes de generalizar una linealidad observada parcialmente. La verificación cuidadosa de la linealidad evita conclusiones erróneas cuando el comportamiento real del fenómeno se aparta del modelo más sencillo disponible.

3.3.2. Comportamientos cuadráticos y polinómicos

Ciertos fenómenos físicos, como la posición de un cuerpo en movimiento uniformemente acelerado, se describen mediante relaciones cuadráticas o polinómicas de orden superior entre las magnitudes involucradas. Gil y Rodríguez (2001) ilustran este comportamiento con el estudio experimental de la caída libre, donde la distancia recorrida por un objeto resulta proporcional al cuadrado del tiempo transcurrido. Reconocer un comportamiento cuadrático en un conjunto de datos exige, con frecuencia, transformar la representación gráfica original, por ejemplo graficando la magnitud dependiente contra el cuadrado de la variable independiente, transformación que permite verificar visualmente si la relación resultante se aproxima a una línea recta.

Obando, Vasco y Arboleda (2014) señalan que este tipo de transformaciones matemáticas fortalece la comprensión de las relaciones funcionales más allá del caso lineal, preparando a los estudiantes para reconocer patrones polinómicos en fenómenos físicos progresivamente más complejos. Comparar el ajuste cuadrático con un ajuste lineal simple, sobre el mismo conjunto de datos, permite

que los estudiantes aprecien concretamente por qué el modelo cuadrático describe mejor un fenómeno como la caída libre.

Obando, Vasco y Arboleda (2014) señalan que dominar estas transformaciones gráficas fortalece considerablemente la flexibilidad matemática necesaria para abordar fenómenos físicos que no se ajustan al caso lineal más elemental. Este tratamiento de comportamientos cuadráticos amplía, en síntesis, el repertorio de relaciones funcionales disponibles para describir fenómenos físicos más allá del caso estrictamente lineal.

Guiar a los estudiantes en la construcción manual de la transformación cuadrática, antes de recurrir a herramientas automatizadas, fortalece su comprensión del procedimiento matemático subyacente. Distinguir comportamientos cuadráticos de otros comportamientos polinómicos de mayor orden exige, igualmente, un examen cuidadoso del conjunto completo de datos disponibles.

Tabla 13. Comportamientos funcionales asociados con diferentes fenómenos físicos

Fenómeno físico	Relación funcional	Forma característica
Movimiento rectilíneo uniforme	Lineal	Línea recta
Caída libre	Cuadrática	Parábola
Descarga de un capacitor	Exponencial	Curva decreciente
Oscilación de un péndulo	Periódica	Onda senoidal

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Obando, Vasco y Arboleda (2014).

La tabla vincula cuatro fenómenos físicos frecuentes en el trabajo escolar con el tipo de relación funcional que los describe y la forma característica de su representación gráfica. Esta síntesis anticipa el

contenido que se desarrolla con mayor detalle en las subsecciones siguientes, ofreciendo un mapa general de las relaciones funcionales que el lector encontrará a lo largo del capítulo.

3.3.3. Relaciones exponenciales presentes en sistemas físicos

Las relaciones exponenciales describen fenómenos físicos en los que la tasa de cambio de una magnitud resulta proporcional a su propio valor instantáneo, comportamiento característico de procesos como el enfriamiento de un cuerpo o la descarga de un capacitor eléctrico. Gil y Rodríguez (2001) muestran cómo estos procesos exponenciales pueden linealizarse aplicando una transformación logarítmica a la magnitud dependiente. Esta linealización mediante transformación logarítmica facilita considerablemente el análisis de datos experimentales que siguen un comportamiento exponencial, pues permite aplicar las mismas herramientas de ajuste lineal desarrolladas para relaciones directamente lineales, en lugar de requerir procedimientos matemáticos más complejos.

Reconocer un comportamiento exponencial en un fenómeno físico resulta, en consecuencia, una competencia valiosa que combina la identificación visual del patrón característico de este tipo de relación con el dominio de las transformaciones matemáticas necesarias para analizarlo con rigor. Practicar la linealización de datos exponenciales mediante distintos ejemplos físicos, más allá del enfriamiento o la descarga eléctrica, fortalece la transferencia de esta herramienta matemática a nuevos contextos experimentales.

Gil y Rodríguez (2001) destacan que reconocer un comportamiento exponencial en fenómenos cotidianos, más allá del laboratorio escolar, constituye una competencia con aplicaciones prácticas relevantes en contextos como el crecimiento poblacional o la desintegración radiactiva. El dominio de las relaciones exponenciales constituye, en definitiva, una herramienta matemática cuya utilidad trasciende

ampliamente el ámbito específico de la física estudiada en este capítulo.

Presentar ejemplos cotidianos de crecimiento o decaimiento exponencial, más allá del laboratorio de física, ayuda a que los estudiantes reconozcan la amplia presencia de este tipo de relación en fenómenos diversos. El reconocimiento oportuno de un comportamiento exponencial evita intentos infructuosos de ajuste lineal directo sobre datos que no responden a ese tipo de relación.

3.3.4. Funciones periódicas y fenómenos oscilatorios

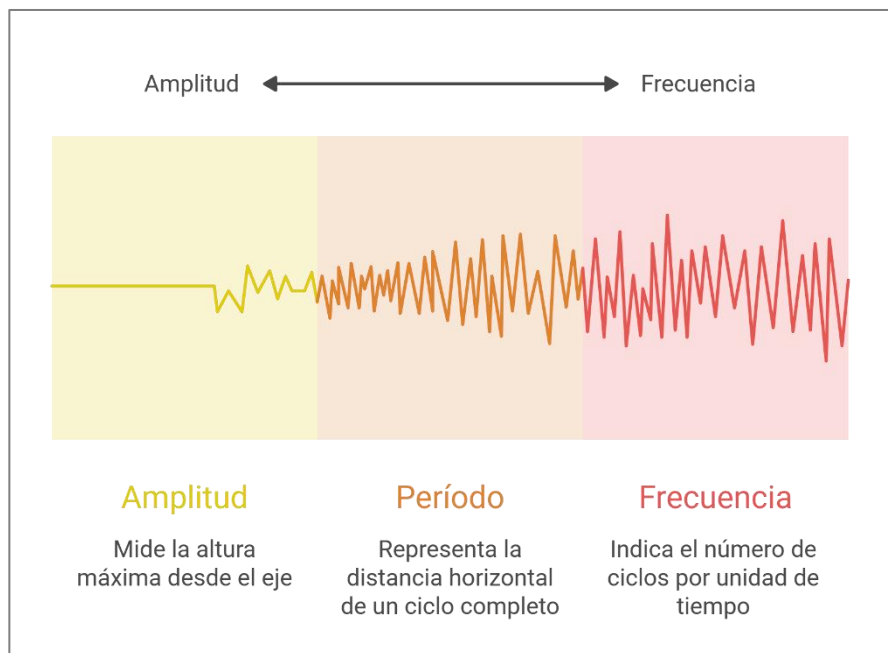
Los fenómenos oscilatorios, como el movimiento de un péndulo o la propagación de una onda sonora, se describen mediante funciones periódicas caracterizadas por parámetros como su período, su frecuencia y su amplitud. Gil y Rodríguez (2001) explican cómo el estudio experimental de estos fenómenos exige un tratamiento matemático particular, distinto del empleado para relaciones lineales o exponenciales. Identificar correctamente el período de un fenómeno oscilatorio a partir de datos experimentales exige, con frecuencia, promediar la duración de varios ciclos consecutivos, procedimiento que reduce la incertidumbre asociada a la medición de un único ciclo aislado.

El estudio de las funciones periódicas complementa, en consecuencia, el repertorio de relaciones funcionales que un investigador debe reconocer al analizar fenómenos físicos, ampliando el análisis más allá de las relaciones monótonas estudiadas en las subsecciones anteriores. Registrar el tiempo de varios ciclos completos, en lugar de un único ciclo, y dividir posteriormente entre el número de ciclos observados constituye una práctica sencilla que reduce considerablemente la incertidumbre del período estimado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan, adicionalmente, verificar si la amplitud de la oscilación permanece constante a lo largo del tiempo o si, por el

contrario, se atenúa progresivamente debido a factores disipativos presentes en el sistema estudiado.

Este tratamiento de las funciones periódicas cierra, en consecuencia, el panorama de relaciones funcionales fundamentales que todo estudiante debería reconocer al analizar fenómenos físicos diversos. Comparar el período de oscilación de un péndulo con distintas longitudes de cuerda ofrece una oportunidad concreta para relacionar el tratamiento matemático de funciones periódicas con un fenómeno físico fácilmente manipulable en el aula. El tratamiento adecuado de fenómenos periódicos exige, adicionalmente, distinguir con cuidado entre el período y la frecuencia, magnitudes inversamente relacionadas entre sí.

Figura 9. Representación matemática de fenómenos periódicos y oscilatorios



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001).

La figura ilustra cómo un fenómeno oscilatorio se traduce en una función matemática caracterizada por su período, su frecuencia y su amplitud, magnitudes que deben determinarse experimentalmente antes de construir dicha representación. Esta traducción constituye la aplicación concreta del tratamiento de funciones periódicas discutido en el texto de esta subsección.

3.3.5. Selección de expresiones matemáticas según los datos

Seleccionar la expresión matemática que mejor describe un conjunto de datos experimentales exige contrastar sistemáticamente distintas hipótesis funcionales, en lugar de asumir de antemano un único tipo de relación sin verificación adicional. Baird (1991) recomienda evaluar cada hipótesis funcional candidata mediante su capacidad para linealizar los datos, criterio práctico que facilita esta comparación sistemática. Obando, Vasco y Arboleda (2014) señalan que esta selección informada de expresiones matemáticas constituye una manifestación avanzada del pensamiento matemático aplicado a fenómenos físicos, pues exige integrar el conocimiento de distintas familias de funciones con la evidencia empírica disponible.

Esta selección cuidadosa de la expresión matemática apropiada prepara, en consecuencia, el terreno para el proceso de ajuste de datos y estimación de parámetros que se desarrolla en la sección siguiente de este capítulo. Elaborar una lista de verificación con las características visuales distintivas de cada familia de funciones estudiada facilita que los estudiantes aborden con mayor sistematicidad la selección de la expresión matemática apropiada. Baird (1991) recomienda documentar explícitamente, junto con la expresión matemática finalmente seleccionada, las alternativas descartadas y las razones de dicho descarte, práctica que fortalece la transparencia metodológica del análisis realizado.

Esta competencia de selección informada constituye, en síntesis, la culminación del tratamiento de relaciones funcionales desarrollado en la presente sección del capítulo. Diseñar un breve protocolo de decisión, con preguntas guía sobre la forma del gráfico y el comportamiento de los residuos, ayuda a que los estudiantes sistematicen la selección de la expresión matemática apropiada. Una selección bien fundamentada de la expresión matemática apropiada constituye la base indispensable para el ajuste de parámetros que se desarrolla en la sección siguiente.

3.4. Ajuste de datos y estimación de parámetros

Ajustar matemáticamente un conjunto de datos permite estimar, con su incertidumbre correspondiente, los parámetros físicos que caracterizan un fenómeno. Esta sección desarrolla la construcción de líneas de tendencia, el método de mínimos cuadrados, la estimación de parámetros físicos, el análisis de residuos y los criterios para valorar la calidad de un ajuste entre predicción y experimento. Baird (1991) ofrece el fundamento matemático central de este procedimiento, complementado por las aplicaciones específicas que Gil y Rodríguez (2001) desarrollan para experiencias físicas escolares.

3.4.1. Construcción de líneas de tendencia

Una línea de tendencia resume, mediante una expresión matemática sencilla, el comportamiento general de un conjunto de datos experimentales que presenta cierta dispersión respecto de una relación subyacente. Baird (1991) explica que esta línea de tendencia no pretende pasar exactamente por cada punto medido, sino representar de la mejor manera posible la relación que vincula las variables estudiadas a pesar de la dispersión introducida por los errores de medición. Gil y Rodríguez (2001) advierten que trazar una

línea de tendencia únicamente a partir de una inspección visual, sin un criterio matemático explícito, introduce una subjetividad considerable en el análisis, subjetividad que puede evitarse mediante procedimientos formales de ajuste como el que se desarrolla en la subsección siguiente.

La construcción cuidadosa de una línea de tendencia constituye, en consecuencia, un paso intermedio valioso entre la representación gráfica exploratoria de los datos y el ajuste matemático riguroso que permite estimar con precisión los parámetros de la relación estudiada.

Comparar una línea de tendencia trazada visualmente con la obtenida posteriormente mediante mínimos cuadrados permite que los estudiantes valoren concretamente la diferencia entre una estimación intuitiva y un procedimiento matemático riguroso. Gil y Rodríguez (2001) señalan que una línea de tendencia bien construida facilita, además, comunicar de manera preliminar el comportamiento del fenómeno a audiencias no especializadas, antes de presentar el ajuste matemático formal correspondiente.

Esta construcción preliminar prepara, en definitiva, el terreno conceptual para el ajuste matemático riguroso mediante mínimos cuadrados que se desarrolla en la subsección siguiente. Solicitar a distintos equipos que tracen su propia línea de tendencia sobre un mismo conjunto de datos, comparando después los resultados obtenidos, evidencia de manera concreta la variabilidad que introduce un criterio puramente visual. Una línea de tendencia razonablemente aproximada facilita, además, anticipar si el ajuste formal posterior arrojará parámetros coherentes con lo esperado.

3.4.2. Ajuste lineal por mínimos cuadrados

El método de mínimos cuadrados constituye el procedimiento matemático más utilizado para determinar la línea recta que mejor se

ajusta a un conjunto de datos experimentales que presentan una relación aproximadamente lineal. Baird (1991) explica que este método minimiza la suma de los cuadrados de las diferencias verticales entre los puntos medidos y la recta ajustada, criterio que ofrece una solución matemáticamente única y reproducible. Gil y Rodríguez (2001) destacan que el método de mínimos cuadrados no solo determina la pendiente y la ordenada en el origen de la recta ajustada, sino que también permite estimar la incertidumbre asociada a cada uno de estos parámetros, información indispensable para interpretar correctamente los resultados obtenidos.

El dominio de este método constituye, en consecuencia, una competencia matemática central para el análisis riguroso de datos experimentales que presentan una relación lineal, y su comprensión conceptual resulta más valiosa que la simple aplicación mecánica de una herramienta de cálculo automatizada. Resolver manualmente al menos un ejemplo completo de ajuste por mínimos cuadrados, antes de recurrir a herramientas de cálculo automatizadas, fortalece la comprensión conceptual del procedimiento más allá de su aplicación mecánica. Cano et al. (2011) destacan que comprender el fundamento matemático del método de mínimos cuadrados permite a los estudiantes interpretar con mayor criterio los resultados que herramientas de cálculo automatizadas entregan de manera casi instantánea.

El dominio del método de mínimos cuadrados constituye, en síntesis, el núcleo técnico central de todo el tratamiento del ajuste de datos desarrollado en esta sección. Acompañar el cálculo manual del ajuste con la verificación posterior mediante una herramienta de cálculo automatizada permite que los estudiantes confirmen la corrección de su procedimiento antes de confiar plenamente en resultados generados automáticamente. El método de mínimos cuadrados

constituye, en definitiva, la herramienta matemática central que articula todo el tratamiento del ajuste desarrollado en esta sección.

Tabla 14. Procedimiento matemático para el ajuste lineal por mínimos cuadrados

Paso	Descripción
1	Organizar los pares de datos (x, y) obtenidos experimentalmente
2	Calcular las sumatorias necesarias de x, y, xy y x^2
3	Obtener la pendiente y la ordenada en el origen mediante las ecuaciones normales
4	Estimar la incertidumbre de los parámetros obtenidos

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Cano et al. (2011); Baird (1991).

La tabla desglosa en cuatro pasos el procedimiento de ajuste por mínimos cuadrados descrito en el texto, desde la organización de los pares de datos hasta la estimación de la incertidumbre de los parámetros obtenidos. Presentar el procedimiento de forma secuencial facilita su aplicación manual antes de recurrir a herramientas de cálculo automatizadas, tal como se recomienda en esta subsección.

3.4.3. Estimación de parámetros físicos

Los parámetros obtenidos mediante el ajuste de una línea recta a los datos experimentales suelen corresponder a magnitudes físicas de interés directo para el fenómeno estudiado, como la aceleración de la gravedad obtenida a partir de la pendiente de un gráfico de velocidad contra tiempo. Cano et al. (2011) ilustran este procedimiento con experiencias de caída libre y de oscilación pendular, mostrando cómo

el ajuste lineal permite estimar dicha aceleración con su incertidumbre correspondiente. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan comparar siempre el parámetro físico estimado mediante el ajuste con el valor de referencia aceptado para esa magnitud, comparación que permite valorar la calidad global del procedimiento experimental empleado en el estudio del fenómeno.

Esta estimación de parámetros físicos mediante ajuste matemático constituye, en definitiva, uno de los propósitos centrales del análisis cuantitativo de datos experimentales, pues traduce la información dispersa de las mediciones individuales en un resultado único y físicamente interpretable. Discutir qué factores del procedimiento experimental podrían explicar una discrepancia entre el parámetro estimado y el valor de referencia constituye un ejercicio formativo que conecta el análisis matemático con la reflexión metodológica más amplia.

Cano et al. (2011) recuerdan que la incertidumbre del parámetro estimado depende tanto de la dispersión de los datos originales como del número de mediciones empleadas en el ajuste, relación que conviene explicitar al reportar el resultado final. Esta estimación de parámetros físicos constituye, en definitiva, uno de los resultados más valiosos que puede obtenerse del análisis matemático riguroso de datos experimentales. Discutir explícitamente qué significaría, en términos físicos, que el parámetro estimado se apartara considerablemente del valor de referencia esperado profundiza la interpretación más allá del cálculo numérico mismo. La estimación cuidadosa de parámetros físicos mediante ajuste constituye uno de los resultados más valorados de todo el proceso experimental descrito en este libro.

3.4.4. Análisis de residuos y diferencias observadas

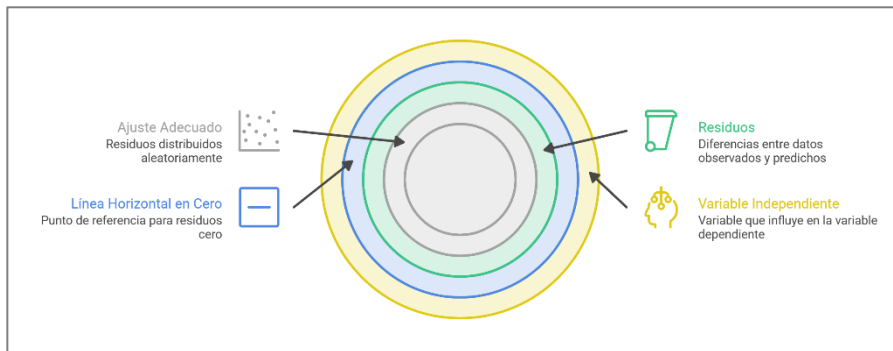
Los residuos, entendidos como las diferencias entre los valores medidos y los valores predichos por la línea de ajuste, ofrecen información valiosa sobre la calidad del modelo matemático empleado para describir el fenómeno estudiado. Baird (1991) recomienda examinar la distribución de estos residuos, pues un patrón sistemático en su comportamiento, en lugar de una dispersión aleatoria, sugiere que la relación lineal asumida no describe adecuadamente el fenómeno en toda su extensión. Gil y Rodríguez (2001) señalan que representar gráficamente los residuos, en función de la variable independiente, facilita detectar este tipo de patrones sistemáticos que podrían pasar desapercibidos si únicamente se examina el gráfico original de los datos junto con la línea ajustada.

Este análisis de residuos constituye, en consecuencia, una herramienta de diagnóstico indispensable para validar la adecuación del modelo matemático seleccionado, y no simplemente un paso final decorativo del proceso de ajuste de datos experimentales. Practicar la identificación de patrones sistemáticos en gráficos de residuos previamente elaborados, antes de trabajar con datos propios, ayuda a que los estudiantes reconozcan con mayor agilidad este tipo de señales en su propio trabajo experimental. Baird (1991) señala que un patrón curvo en el gráfico de residuos, en lugar de una dispersión aleatoria alrededor de cero, constituye una de las señales más claras de que el modelo lineal asumido resulta inadecuado para el fenómeno estudiado.

Este análisis de residuos constituye, en síntesis, el mecanismo de control de calidad que valida o cuestiona el modelo matemático empleado en el ajuste de los datos. Proponer a los estudiantes que examinen gráficos de residuos con y sin patrones sistemáticos, discutiendo las diferencias observadas, consolida esta habilidad diagnóstica de manera comparativa y concreta. Un análisis de residuos

bien realizado constituye, en la práctica, el control de calidad final del ajuste matemático aplicado a los datos experimentales.

Figura 10. Distribución de residuos en el análisis del ajuste experimental



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Baird (1991).

La figura muestra cómo se distribuyen los residuos, las diferencias entre los valores medidos y los predichos por el modelo, alrededor de cero cuando el ajuste resulta adecuado. Reconocer visualmente esta distribución, y distinguirla de un patrón sistemático, constituye la herramienta diagnóstica central descrita en el texto de esta subsección.

3.4.5. Valoración del ajuste entre predicción y experimento

Valorar la calidad de un ajuste matemático exige considerar simultáneamente varios indicadores, entre ellos la magnitud de los residuos, el coeficiente de correlación obtenido y la coherencia de los parámetros estimados con el conocimiento físico previo del fenómeno estudiado. Baird (1991) advierte que un coeficiente de correlación cercano a la unidad no garantiza, por sí solo, que el modelo matemático empleado resulte físicamente apropiado para el fenómeno. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan complementar siempre esta valoración estadística del ajuste con una revisión conceptual que confirme si el

tipo de relación matemática seleccionada resulta coherente con los principios físicos que gobiernan el fenómeno estudiado, y no únicamente con la bondad estadística del ajuste numérico.

Esta valoración integral del ajuste entre predicción y experimento cierra, en consecuencia, el ciclo de análisis matemático desarrollado a lo largo de este capítulo, y prepara el terreno conceptual para la modelización matemática más general que se aborda en la última sección. Presentar casos en los que un ajuste estadísticamente aceptable resulta, sin embargo, físicamente inapropiado ofrece una oportunidad valiosa para discutir los límites de una valoración puramente numérica del ajuste obtenido. Gil y Rodríguez (2001) insisten en que esta valoración integral del ajuste debe documentarse explícitamente en el reporte final del experimento, en lugar de limitarse a presentar únicamente los parámetros numéricos obtenidos.

Esta valoración integral cierra, en consecuencia, el tratamiento del ajuste de datos desarrollado en la presente sección, que da paso a la modelización matemática más general abordada a continuación. Solicitar una breve justificación escrita sobre por qué el modelo lineal resulta o no apropiado para el fenómeno estudiado, más allá del valor del coeficiente de correlación obtenido, fortalece esta valoración integral. Esta valoración final del ajuste integra, en definitiva, todos los criterios matemáticos y físicos desarrollados a lo largo de la presente sección.

3.5. Modelización matemática a partir de evidencias

Modelizar matemáticamente un fenómeno físico exige traducir la evidencia experimental disponible en una relación matemática que explique y prediga su comportamiento. Esta sección cierra el capítulo desarrollando la formulación de modelos empíricos, el contraste sistemático entre predicciones y nuevas mediciones, y la disposición a

revisar un modelo ante evidencia que lo contradiga. Carmona-Mesa, Cardona Zapata y Castrillón-Yepes (2020) documentan, con una experiencia concreta de formación docente, las dificultades y los aprendizajes que este proceso de modelización supone en la práctica.

3.5.1. Traducción de observaciones a relaciones matemáticas

Traducir las observaciones experimentales de un fenómeno físico en una relación matemática explícita constituye el primer paso del proceso de modelización, y exige articular la evidencia empírica disponible con el repertorio de funciones matemáticas conocidas por quien investiga. Carmona-Mesa, Cardona Zapata y Castrillón-Yepes (2020) documentan, en una experiencia con futuros profesores, las dificultades que surgen cuando esta traducción se realiza sin suficiente comprensión del fenómeno físico subyacente. Obando, Vasco y Arboleda (2014) señalan que esta traducción no consiste en ajustar mecánicamente los datos a una fórmula predeterminada, sino en reconocer qué tipo de relación matemática resulta coherente tanto con el comportamiento observado como con los principios físicos que gobiernan el fenómeno estudiado.

El dominio progresivo de esta competencia de traducción constituye, en consecuencia, uno de los objetivos formativos centrales del enfoque STEAM, pues articula de manera explícita el trabajo experimental desarrollado en los capítulos anteriores con el pensamiento matemático propio de la modelización. Proponer ejercicios en los que los estudiantes describan verbalmente un fenómeno antes de intentar expresarlo matemáticamente favorece una traducción más consciente y menos mecánica hacia el lenguaje formal de las funciones. Carmona-Mesa, Cardona Zapata y Castrillón-Yepes (2020) señalan que esta articulación entre observación y lenguaje matemático se fortalece considerablemente cuando el fenómeno

estudiado resulta significativo y cercano a la experiencia cotidiana de los estudiantes.

Esta competencia de traducción constituye, en definitiva, el primer paso indispensable del proceso completo de modelización matemática desarrollado a lo largo de esta última sección. Proponer que los estudiantes describan un fenómeno cotidiano no físico, como el gasto de datos de un teléfono móvil, y lo traduzcan a una relación matemática sencilla amplía la aplicabilidad de esta competencia de traducción. Esta competencia de traducción constituye, en la práctica, el eje articulador entre el trabajo experimental y el pensamiento matemático propio del enfoque STEAM.

3.5.2. Formulación de modelos empíricos

Un modelo empírico se construye a partir de la evidencia experimental disponible, sin derivarse necesariamente de primeros principios físicos, y resulta particularmente útil cuando el fenómeno estudiado resulta demasiado complejo para un tratamiento teórico completo. Carmona-Mesa, Cardona Zapata y Castrillón-Yepes (2020) ilustran esta formulación con el estudio experimental del enfriamiento de distintas cantidades de agua, proceso modelado a partir de los datos recogidos antes que a partir de una deducción teórica previa. Ros et al. (2026) señalan que la formulación de modelos empíricos dentro del marco STEAM-5E favorece que los estudiantes comprendan el papel constructivo de las matemáticas en la ciencia, papel que trasciende su uso como simple herramienta de cálculo para convertirse en un lenguaje capaz de sintetizar patrones observados en la naturaleza.

Esta formulación de modelos empíricos exige, no obstante, mantener presente que su validez permanece condicionada al rango de condiciones bajo las cuales fueron construidos, precaución que retoma el criterio sobre alcances y límites experimentales discutido en el primer capítulo de este libro. Comparar modelos empíricos

construidos por distintos equipos de trabajo, a partir de un mismo fenómeno, enriquece la discusión sobre qué características hacen a un modelo más adecuado que otro para describir la evidencia disponible.

Obando, Vasco y Arboleda (2014) destacan que un modelo empírico bien formulado debe, además, resultar interpretable en términos físicos sencillos, evitando expresiones matemáticas excesivamente complejas que dificulten su comprensión conceptual. Esta formulación de modelos empíricos constituye, en síntesis, una aplicación concreta y accesible del pensamiento matemático aplicado a fenómenos físicos cotidianos. Documentar explícitamente las condiciones experimentales bajo las cuales se recolectaron los datos empleados en la formulación del modelo empírico facilita valorar posteriormente su rango razonable de aplicabilidad. Un modelo empírico bien formulado constituye, en definitiva, una síntesis matemática valiosa del trabajo experimental desarrollado a lo largo de todo el proyecto.

3.5.3. Contraste entre predicciones y mediciones

Todo modelo matemático construido a partir de evidencias experimentales debe someterse a un contraste posterior con nuevas mediciones, procedimiento que permite valorar su capacidad predictiva más allá del conjunto de datos original con el que fue formulado. Baird (1991) recomienda reservar, siempre que resulte posible, una porción de los datos experimentales exclusivamente para esta validación posterior, en lugar de emplear la totalidad de las mediciones únicamente en la construcción del modelo. Carmona-Mesa, Cardona Zapata y Castrillón-Yepes (2020) documentan que este contraste entre predicciones y nuevas mediciones constituye, para los futuros docentes participantes en su estudio, una de las etapas más formativas del proceso de modelización, pues expone de manera concreta las limitaciones del modelo construido inicialmente.

Un modelo que resiste satisfactoriamente este contraste con nuevas mediciones incrementa considerablemente la confianza que puede depositarse en su capacidad explicativa, mientras que discrepancias sistemáticas señalan la necesidad de revisar sus supuestos o su rango de aplicabilidad. Diseñar explícitamente una fase de validación posterior, separada temporalmente de la fase de construcción del modelo, refuerza en los estudiantes la disciplina metodológica de no confundir el ajuste inicial con una comprobación genuina. Baird (1991) recomienda que esta validación posterior se realice, siempre que sea posible, en condiciones ligeramente distintas de las empleadas en la construcción original del modelo, para poner a prueba de manera más exigente su capacidad predictiva.

Este contraste riguroso entre predicciones y mediciones constituye, en definitiva, el criterio decisivo para valorar la utilidad real de cualquier modelo matemático propuesto. Organizar una segunda sesión de recolección de datos, distinta de la original, dedicada exclusivamente a poner a prueba el modelo formulado, convierte esta validación en una etapa explícita y planificada del proyecto. El contraste sistemático entre predicciones y mediciones constituye, en la práctica, la prueba definitiva de la utilidad real de cualquier modelo propuesto.

Tabla 15. Contraste entre predicciones matemáticas y mediciones experimentales

Magnitud	Valor predicho por el modelo	Valor medido
Tiempo de enfriamiento	(valor calculado)	(valor $\pm$ incertidumbre)
Posición en instante dado	(valor calculado)	(valor $\pm$ incertidumbre)

Nota. Elaboración propia con base en Baird (1991); Carmona-Mesa, Cardona Zapata y Castrillón-Yepes (2020).

La tabla ejemplifica, con dos magnitudes físicas distintas, el formato recomendado para contrastar el valor predicho por un modelo matemático con el valor efectivamente medido en una etapa de validación posterior. Este contraste explícito constituye el criterio central para valorar la capacidad predictiva de cualquier modelo, tal como se desarrolla en esta subsección.

3.5.4. Revisión del modelo ante nuevas evidencias

Cuando el contraste entre las predicciones de un modelo y las nuevas mediciones revela discrepancias significativas, corresponde revisar el modelo matemático empleado, ya sea ajustando sus parámetros, modificando su forma funcional o precisando su rango de validez. Obando, Vasco y Arboleda (2014) señalan que esta disposición a revisar el modelo ante nueva evidencia constituye un rasgo distintivo del pensamiento matemático aplicado maduro, distinto de una actitud que defiende el modelo original a toda costa. Carmona-Mesa, Cardona Zapata y Castrillón-Yepes (2020) documentan episodios concretos en los que los futuros profesores participantes debieron revisar su modelo inicial del enfriamiento del agua al incorporar mediciones adicionales que no se ajustaban satisfactoriamente a la relación matemática propuesta originalmente.

Esta capacidad de revisión constituye, en consecuencia, una manifestación práctica del carácter provisional y perfectible que caracteriza al conocimiento científico en general, principio que atraviesa la totalidad de este libro desde su primer capítulo. Documentar por escrito las razones que motivaron cada revisión del modelo original permite reconstruir posteriormente el proceso completo de modelización, con fines tanto de evaluación como de reflexión formativa. Ros et al. (2026) señalan que esta disposición a revisar modelos ante nueva evidencia constituye, dentro del marco

STEAM-5E, una de las actitudes más valiosas que se busca cultivar en los estudiantes a lo largo de todo el proceso formativo.

Esta disposición a la revisión constituye, en síntesis, uno de los aprendizajes actitudinales más valiosos que este capítulo busca cultivar en los estudiantes. Presentar a los estudiantes casos históricos de la ciencia en los que un modelo aceptado debió revisarse ante nueva evidencia ofrece un contexto motivador adicional para valorar esta disposición como una fortaleza y no como una debilidad. Esta disposición a revisar el modelo ante nueva evidencia constituye, en definitiva, una actitud científica que trasciende ampliamente el contenido específico de este capítulo.

3.5.5. Capacidad explicativa y predictiva de una representación matemática

Un modelo matemático adecuado debe cumplir simultáneamente una función explicativa, al dar cuenta del comportamiento observado en los datos disponibles, y una función predictiva, al anticipar con razonable confianza el comportamiento del fenómeno en condiciones aún no exploradas experimentalmente. Ros et al. (2026) sostienen que ambas funciones deben desarrollarse de manera equilibrada dentro del trabajo STEAM, evitando modelos que expliquen adecuadamente los datos existentes pero que carezcan de capacidad predictiva genuina. Obando, Vasco y Arboleda (2014) señalan que valorar esta capacidad predictiva exige someter el modelo a situaciones nuevas, más allá del conjunto de datos que motivó su formulación original, criterio que retoma directamente el contraste entre predicciones y mediciones discutido en la subsección anterior.

El desarrollo de esta capacidad explicativa y predictiva constituye, en definitiva, el propósito último del análisis matemático de fenómenos físicos desarrollado a lo largo de este capítulo, y sienta las bases metodológicas para el estudio de las tecnologías y recursos STEAM que

se aborda en el capítulo siguiente. Cerrar cada proyecto de modelización con una discusión explícita sobre las condiciones bajo las cuales el modelo desarrollado conserva su validez fortalece la comprensión crítica de sus alcances y límites entre los estudiantes. Carmona-Mesa, Cardona Zapata y Castrillón-Yepes (2020) concluyen que desarrollar simultáneamente esta capacidad explicativa y predictiva constituye uno de los mayores desafíos, y a la vez uno de los aportes más valiosos, de la modelización matemática aplicada a la enseñanza de las ciencias.

El desarrollo conjunto de estas capacidades cierra, en definitiva, el recorrido metodológico propuesto en este capítulo, y sienta las bases necesarias para el trabajo con tecnologías STEAM que se desarrolla en el capítulo siguiente. Cerrar el capítulo con una discusión colectiva sobre qué distingue a un buen modelo matemático de uno meramente ajustado a los datos disponibles consolida los aprendizajes centrales desarrollados a lo largo de todo el capítulo. El equilibrio entre capacidad explicativa y predictiva constituye, en síntesis, el criterio final para valorar la calidad de cualquier modelo matemático desarrollado en este libro.



CAPÍTULO 4

**Tecnologías y Recursos STEAM para la
Experimentación Científica**



Capítulo 4. Tecnologías y Recursos STEAM para la Experimentación Científica

4.1. Sensores y sistemas digitales de medición

Los sensores digitales han ampliado considerablemente la capacidad de capturar magnitudes físicas con precisión y en intervalos de tiempo antes inaccesibles a la medición manual. Esta sección presenta los principales tipos de sensores empleados en el trabajo STEAM, los criterios para configurar su frecuencia de muestreo, su integración responsable en actividades experimentales, y un balance equilibrado entre las ventajas y las limitaciones que esta instrumentación digital conlleva. Marín-Marín et al. (2021) documentan el crecimiento sostenido de esta tecnología en la enseñanza experimental de las ciencias.

4.1.1. Sensores de movimiento, temperatura, luz y fuerza

Los sensores digitales permiten capturar magnitudes físicas de manera automática, traduciendo variaciones del entorno en señales eléctricas que posteriormente se procesan como datos numéricos. Marín-Marín et al. (2021) documentan un crecimiento sostenido de propuestas STEAM que incorporan sensores de movimiento, temperatura, luz y fuerza, tendencia que refleja la progresiva accesibilidad de estos dispositivos para el trabajo experimental escolar. Cada tipo de sensor responde a principios físicos distintos y presenta características particulares de resolución y rango que conviene conocer antes de emplearlo. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan familiarizarse con el principio de funcionamiento de cada sensor, y no únicamente con su manejo operativo, pues esta comprensión permite interpretar con mayor criterio las lecturas que el dispositivo entrega.

En el trabajo STEAM, la disponibilidad de sensores diversos amplía considerablemente el repertorio de fenómenos que pueden estudiarse experimentalmente en el aula, incluyendo procesos demasiado rápidos, lentos o sutiles para una observación puramente manual. Organizar una breve sesión de exploración libre con cada tipo de sensor, antes de emplearlo en una actividad evaluada, permite que los estudiantes se familiaricen con su comportamiento y limitaciones prácticas en un contexto de bajo riesgo. Marín-Marín et al. (2021) señalan que la disponibilidad creciente de sensores económicos ha democratizado considerablemente el acceso a este tipo de instrumentación en contextos escolares con recursos limitados.

Este conocimiento previo del principio de funcionamiento de cada sensor constituye, en definitiva, la base indispensable para interpretar correctamente los datos que dicho sensor entregará posteriormente. Invitar a los estudiantes a predecir, antes de conectar el sensor, qué tipo de valores esperan observar fomenta una actitud más activa y reflexiva frente a la instrumentación digital empleada. El manejo progresivo de distintos tipos de sensores amplía, con el tiempo, el repertorio de fenómenos físicos que un equipo de trabajo puede abordar experimentalmente con confianza.

Tabla 16. Sensores digitales según la magnitud física registrada

Tipo de sensor	Magnitud registrada	Ejemplo de aplicación STEAM
Movimiento	Posición y velocidad	Análisis de una caída libre
Temperatura	Variación térmica	Curvas de enfriamiento
Luz	Intensidad luminosa	Eficiencia de un panel solar
Fuerza	Magnitud de una fuerza aplicada	Elasticidad de un resorte

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Marín-Marín et al. (2021).

La tabla vincula cuatro tipos de sensor con la magnitud física que registran y un ejemplo concreto de aplicación STEAM, ofreciendo un punto de partida para seleccionar el sensor adecuado según el fenómeno que se desea estudiar. Esta síntesis retoma directamente los criterios de selección instrumental desarrollados en el segundo capítulo de este libro.

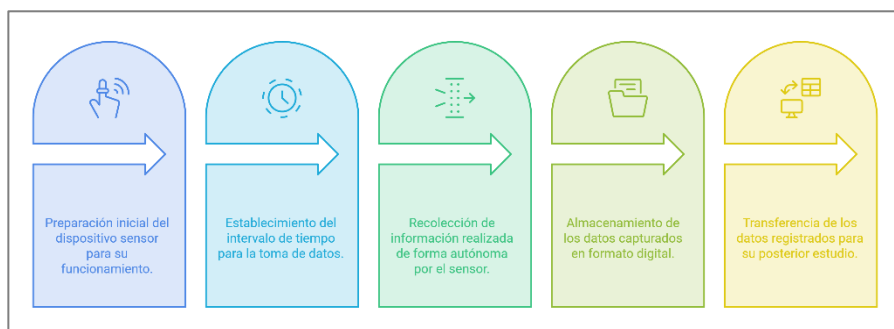
4.1.2. Captura automática de magnitudes físicas

La captura automática de datos mediante sensores digitales reduce considerablemente el tiempo dedicado a la toma manual de mediciones, permitiendo registrar un número mucho mayor de observaciones en el mismo intervalo de tiempo. Ros et al. (2026) señalan que esta capacidad amplía las posibilidades de análisis matemático posterior, al proporcionar conjuntos de datos más extensos que los que resultarían de un registro manual. Esta automatización no elimina, sin embargo, la responsabilidad de configurar adecuadamente el sensor antes de iniciar la captura, decisión que incluye definir el rango esperado de la magnitud, la frecuencia de registro y las condiciones ambientales bajo las cuales se realizará la medición.

Marín-Marín et al. (2021) advierten que la facilidad con que estos sistemas generan grandes volúmenes de datos exige, en contrapartida, una preparación adecuada de los estudiantes para procesar e interpretar críticamente esa información, evitando que la abundancia de datos sustituya la comprensión conceptual del fenómeno estudiado. Comparar el tiempo invertido en la captura manual frente a la captura automática de un mismo conjunto de datos ofrece una manera concreta de que los estudiantes valoren las ventajas prácticas de la automatización tecnológica.

Esta capacidad de captura automática resulta particularmente valiosa para estudiar fenómenos que ocurren en intervalos de tiempo demasiado breves para un registro manual confiable. Esta capacidad de captura automática constituye, en síntesis, uno de los aportes más valiosos de la instrumentación digital al trabajo experimental STEAM desarrollado a lo largo de este libro. Solicitar a los estudiantes que grafiquen inmediatamente los datos capturados automáticamente, sin esperar al final de la sesión, favorece una detección más temprana de posibles configuraciones incorrectas del sensor. Esta reducción del tiempo de captura permite, en la práctica, dedicar más sesiones de clase al análisis e interpretación de los datos que a su sola recolección manual.

Figura 11. Flujo de captura automática de datos mediante sensores



Nota. Elaboración propia con base en Marín-Marín et al. (2021); Ros et al. (2026).

La figura esquematiza el flujo típico de captura automática de datos, desde la configuración inicial del sensor hasta el registro sistemático de las mediciones, pasando por la definición de la frecuencia de muestreo. Este esquema visual sintetiza las decisiones técnicas que deben tomarse antes de iniciar una sesión de captura automatizada, discutidas en el texto de esta subsección.

4.1.3. Frecuencia de muestreo y resolución temporal

La frecuencia de muestreo determina cuántas mediciones registra un sensor digital por unidad de tiempo, parámetro que condiciona directamente la capacidad del sistema para captar con fidelidad fenómenos que cambian rápidamente. Gil y Rodríguez (2001) advierten que una frecuencia de muestreo insuficiente puede hacer que el sistema pierda información relevante sobre variaciones rápidas del fenómeno estudiado, aun cuando el sensor posea una resolución adecuada para la magnitud medida. Seleccionar una frecuencia de muestreo apropiada exige considerar la velocidad característica del fenómeno físico bajo estudio, de modo que el intervalo entre mediciones sucesivas resulte suficientemente breve para capturar sus cambios significativos sin generar, al mismo tiempo, una cantidad innecesaria de datos redundantes.

Esta decisión técnica conecta directamente con los conceptos de resolución y rango instrumental desarrollados en el segundo capítulo de este libro, pues la frecuencia de muestreo constituye, en cierto sentido, la resolución temporal específica de los sistemas de captura digital. Realizar una prueba comparativa con dos frecuencias de muestreo distintas, sobre el mismo fenómeno, permite ilustrar de manera tangible cómo esta decisión técnica afecta la fidelidad de los datos capturados. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan documentar explícitamente la frecuencia de muestreo empleada en cualquier reporte experimental, dato que resulta indispensable para interpretar correctamente los resultados obtenidos.

El dominio de este parámetro técnico constituye, en definitiva, una extensión natural de los conceptos de resolución y rango desarrollados en el segundo capítulo de este libro. Discutir con los estudiantes ejemplos de fenómenos cotidianos que requerirían una frecuencia de muestreo muy alta, como el sonido, frente a otros que admiten una frecuencia baja, como la temperatura ambiente, ilustra esta decisión

de manera concreta. Una elección cuidadosa de la frecuencia de muestreo evita, en consecuencia, tanto la pérdida de información relevante como la generación innecesaria de datos redundantes.

4.1.4. Integración de dispositivos en actividades experimentales

Integrar sensores digitales dentro de una actividad experimental exige planificar su ubicación física, su conexión con el sistema de registro y su calibración previa, decisiones que deben tomarse antes de iniciar la recolección formal de datos. Ros et al. (2026) recomiendan realizar una prueba piloto breve con el dispositivo antes de la sesión experimental completa, práctica que permite detectar problemas técnicos sin comprometer la sesión de trabajo principal. Cano et al. (2011) señalan que esta integración cuidadosa de dispositivos digitales complementa, sin sustituir, los criterios de diseño experimental discutidos en capítulos anteriores, pues la tecnología facilita la ejecución del experimento pero no exime de la necesidad de un diseño metodológicamente riguroso.

Una integración exitosa de estos dispositivos en el aula requiere, además, considerar el tiempo de aprendizaje que su manejo demanda de los estudiantes, tiempo que conviene dedicar explícitamente antes de emplear el dispositivo en una actividad experimental evaluada. Elaborar una lista de verificación técnica, revisada antes de cada sesión experimental, reduce considerablemente los contratiempos asociados a la integración de dispositivos digitales en el trabajo de aula. Ros et al. (2026) destacan que esta planificación cuidadosa de la integración tecnológica constituye un componente central de la fase de diseño dentro del marco STEAM-5E.

Esta integración cuidadosa de dispositivos digitales constituye, en síntesis, el puente entre el diseño experimental conceptual y su realización práctica en el aula. Asignar a un integrante del equipo la responsabilidad específica de verificar la configuración técnica de los

dispositivos antes de cada sesión distribuye adecuadamente esta tarea dentro del trabajo colaborativo. Una integración tecnológica bien planificada reduce, en la práctica, los contratiempos que de otro modo podrían consumir un tiempo valioso de la sesión experimental.

4.1.5. Ventajas y limitaciones de la instrumentación digital

La instrumentación digital ofrece ventajas considerables frente a los métodos manuales tradicionales, entre ellas una mayor precisión temporal, la posibilidad de registrar fenómenos rápidos y la reducción de errores de lectura asociados a la apreciación humana. Marín-Marín et al. (2021) documentan estas ventajas en numerosos estudios STEAM que comparan explícitamente ambos enfoques de medición. Estas ventajas conviven, sin embargo, con limitaciones que conviene reconocer, entre ellas la dependencia de una configuración técnica correcta, la posibilidad de fallas del dispositivo que no siempre resultan evidentes de inmediato, y el riesgo de una confianza excesiva en datos que aparentan mayor exactitud de la que realmente poseen.

Gil y Rodríguez (2001) recomiendan mantener siempre una actitud crítica frente a los datos generados digitalmente, sometiéndolos a los mismos criterios de precisión, exactitud e incertidumbre desarrollados en el segundo capítulo de este libro, en lugar de aceptarlos sin cuestionamiento por el simple hecho de provenir de un dispositivo digital. Discutir abiertamente casos en los que un sensor entregó datos erróneos por una configuración incorrecta refuerza, de manera concreta, la necesidad de mantener una actitud crítica frente a la instrumentación digital. Reconocer estas ventajas y limitaciones de manera equilibrada evita tanto un rechazo injustificado de la tecnología como una confianza acrítica en sus resultados.

El reconocimiento equilibrado de estas ventajas y limitaciones cierra, en consecuencia, el tratamiento de los sensores digitales desarrollado en la presente sección del capítulo. Proponer a los estudiantes que

comparen, para un mismo fenómeno sencillo, una medición manual y una medición digital, discutiendo las diferencias observadas, consolida esta actitud crítica de manera práctica. Este equilibrio crítico frente a la tecnología digital constituye, en definitiva, una disposición formativa que acompañará a los estudiantes mucho más allá del contexto escolar específico.

4.2. Herramientas computacionales para procesar información

Las herramientas computacionales, particularmente las hojas de cálculo, permiten organizar, automatizar y representar gráficamente los datos experimentales con una eficiencia que trasciende ampliamente los procedimientos manuales. Esta sección desarrolla su uso en la organización de mediciones, la automatización de operaciones matemáticas, la generación de gráficos digitales, la comparación de conjuntos extensos de datos y la elaboración de informes finales. Raviolo, Álvarez y Aguilar (2011) documentan, desde la enseñanza de la física, el valor formativo de estas herramientas cuando se emplean con criterio conceptual.

4.2.1. Hojas de cálculo en la organización de mediciones

Las hojas de cálculo constituyen una de las herramientas computacionales más accesibles para organizar y procesar datos experimentales en el aula, permitiendo estructurar la información en columnas claramente etiquetadas para cada magnitud registrada. Raviolo, Álvarez y Aguilar (2011) documentan que esta herramienta resulta particularmente valiosa en la enseñanza de la física, tanto para la recolección de datos como para el análisis de errores y el diseño experimental. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan estructurar la hoja de cálculo replicando la lógica de la tabulación experimental discutida en el segundo capítulo de este libro, de modo que cada columna

corresponda a una magnitud específica junto con su incertidumbre asociada.

El dominio de estas herramientas facilita, además, la transición hacia operaciones más avanzadas de procesamiento de datos, como el cálculo automático de estadísticos descriptivos o la generación de gráficos, que se abordan en las subsecciones siguientes. Proponer una plantilla común de hoja de cálculo para todo el curso facilita la comparación posterior de resultados entre distintos equipos de trabajo que abordan un mismo fenómeno experimental. Raviolo, Álvarez y Aguilar (2011) destacan que esta organización sistemática constituye, además, un paso previo indispensable para la automatización de cálculos que se desarrolla en la subsección siguiente.

Esta organización cuidadosa en hoja de cálculo constituye, en definitiva, el punto de partida indispensable para el procesamiento computacional de datos experimentales. Dedicar una sesión breve, al inicio del curso, a familiarizar a los estudiantes con las funciones básicas de la hoja de cálculo evita que las dificultades técnicas interfieran posteriormente con el análisis conceptual. Una hoja de cálculo bien estructurada desde el inicio del proyecto ahorra, en la práctica, tiempo considerable en etapas posteriores de análisis y presentación de resultados.



4.2.2. Automatización de operaciones matemáticas

Las herramientas computacionales permiten automatizar operaciones matemáticas repetitivas, como el cálculo de promedios, desviaciones estándar o propagación de incertidumbres, liberando tiempo que puede dedicarse a la interpretación conceptual de los resultados. Raviolo, Álvarez y Aguilar (2011) señalan que esta automatización, lejos de sustituir la comprensión matemática, permite explorar de manera más ágil el efecto de distintas condiciones experimentales sobre el resultado final. Cano et al. (2011) advierten, sin embargo, que confiar en un cálculo automatizado sin comprender el procedimiento matemático subyacente puede llevar a errores no detectados, especialmente cuando se introduce incorrectamente una fórmula o se malinterpreta el resultado que la herramienta entrega.

Por esta razón, conviene que los estudiantes verifiquen manualmente al menos un ejemplo completo de cada tipo de cálculo antes de confiar plenamente en su automatización, práctica que refuerza la comprensión conceptual sin renunciar a la eficiencia que ofrece la herramienta computacional. Revisar colectivamente errores frecuentes en la introducción de fórmulas dentro de la hoja de cálculo ayuda a que los estudiantes desarrollen mayor cuidado en la automatización de sus propios cálculos. Esta automatización de operaciones matemáticas libera tiempo valioso que puede dedicarse a la interpretación conceptual de los resultados obtenidos.

Esta automatización responsable constituye, en síntesis, un equilibrio entre eficiencia técnica y comprensión conceptual que atraviesa todo el trabajo con herramientas computacionales. Proponer ejercicios en los que los estudiantes detecten intencionalmente un error introducido en una fórmula previamente preparada desarrolla su capacidad de auditoría crítica sobre cálculos automatizados. La verificación manual ocasional de los cálculos automatizados constituye, en definitiva, una

práctica de control de calidad sencilla y de bajo costo dentro del trabajo experimental.

4.2.3. Generación e interpretación de gráficos digitales

Las herramientas computacionales facilitan considerablemente la generación de gráficos a partir de conjuntos de datos experimentales, permitiendo explorar rápidamente distintas representaciones visuales de una misma relación entre variables. Martín-Cudero (2024) destaca que esta facilidad amplía las posibilidades didácticas del análisis gráfico discutido en el tercer capítulo de este libro, al permitir que los estudiantes comparen ágilmente distintos tipos de representación. Raviolo, Álvarez y Aguilar (2011) recomiendan, no obstante, que los estudiantes comprendan los principios de una buena representación gráfica antes de emplear estas herramientas de manera automática, pues un gráfico generado sin criterio puede comunicar de manera engañosa la relación entre las variables estudiadas.

La interpretación crítica de un gráfico digital exige, en consecuencia, los mismos criterios desarrollados en el capítulo anterior sobre selección de variables, escalas y reconocimiento de patrones, criterios que la automatización tecnológica no sustituye sino que facilita aplicar de manera más ágil. Solicitar a los estudiantes que justifiquen por escrito la elección de un tipo particular de gráfico digital, y no otro, fortalece la reflexión crítica sobre las decisiones de representación visual adoptadas. Martín-Cudero (2024) señala que la facilidad para generar múltiples versiones de un mismo gráfico favorece una exploración visual más rica del comportamiento de los datos.

Esta generación ágil de representaciones gráficas constituye, en definitiva, una extensión tecnológica directa del análisis gráfico desarrollado en el tercer capítulo de este libro. Organizar una breve

comparación entre gráficos elaborados manualmente y mediante herramientas digitales, a partir del mismo conjunto de datos, permite valorar tanto las ventajas como los cuidados que exige cada enfoque. Una exploración ágil de distintas representaciones gráficas facilita, en la práctica, identificar con mayor rapidez la forma de visualización que mejor comunica el comportamiento de los datos.

Tabla 17. Tipos de gráficos digitales y su utilidad en el análisis experimental

Tipo de gráfico digital	Utilidad principal
Dispersión (X-Y)	Explorar relaciones entre dos variables continuas
Líneas	Visualizar la evolución de una magnitud en el tiempo
Barras	Comparar categorías o conjuntos discretos de datos

Nota. Elaboración propia con base en Martín-Cudero (2024); Raviolo, Álvarez y Aguilar (2011).

La tabla asocia tres tipos de gráfico digital de uso frecuente, dispersión, líneas y barras, con la utilidad analítica específica de cada uno, retomando los criterios de selección de representación gráfica desarrollados en el tercer capítulo de este libro. Esta asociación orienta la elección del gráfico según el tipo de relación que se desea comunicar.

4.2.4. Comparación de conjuntos extensos de datos

Las herramientas computacionales permiten comparar conjuntos extensos de datos experimentales con una eficiencia que resultaría impracticable mediante procedimientos manuales, facilitando el trabajo con volúmenes de información generados por captura

automática de sensores digitales. Ros et al. (2026) señalan que esta capacidad de comparación amplía considerablemente las posibilidades de análisis dentro de proyectos STEAM que integran datos de distintas fuentes o distintos equipos de trabajo. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan, al comparar conjuntos extensos de datos, mantener presente que la calidad de la comparación depende tanto del volumen de información disponible como de la consistencia metodológica con que cada conjunto de datos fue recolectado originalmente.

Esta comparación de conjuntos extensos de datos constituye, en consecuencia, una extensión natural de los criterios de comparación cuantitativa desarrollados en el tercer capítulo de este libro, aplicados ahora a volúmenes de información considerablemente mayores. Organizar una actividad en la que distintos equipos compartan sus conjuntos de datos para una comparación conjunta ofrece una oportunidad concreta de practicar esta competencia en un contexto colaborativo.

Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que esta comparación de conjuntos extensos de datos exige mantener el mismo rigor metodológico exigido para conjuntos de menor tamaño. Esta capacidad de comparación a gran escala constituye, en síntesis, una de las contribuciones más valiosas de las herramientas computacionales al análisis experimental colaborativo. Proponer preguntas guía, como qué equipo obtuvo la menor dispersión o el mejor ajuste, estructura de manera didáctica esta comparación entre conjuntos extensos de datos recolectados por distintos grupos. Esta capacidad de comparar conjuntos extensos de datos resulta, en definitiva, cada vez más relevante en un contexto donde la captura automática genera volúmenes crecientes de información.

4.2.5. Elaboración de informes a partir de resultados procesados

Las herramientas computacionales facilitan también la elaboración de informes que integran tablas, gráficos y análisis estadísticos en un documento coherente que comunica los resultados del trabajo experimental realizado. Martín-Cudero (2024) destaca que esta integración de distintos elementos de comunicación científica constituye una competencia STEAM valiosa que trasciende el ámbito específico de la física estudiada. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que estos informes, más allá de su presentación visual cuidada, mantengan el mismo rigor metodológico exigido en los reportes elaborados manualmente, incluyendo la documentación explícita de incertidumbres y de las condiciones bajo las cuales se obtuvieron los resultados presentados.

La elaboración de informes con herramientas computacionales prepara, en consecuencia, a los estudiantes para formas de comunicación científica cada vez más presentes en contextos académicos y profesionales, donde la integración de datos procesados digitalmente resulta habitual. Revisar en conjunto ejemplos de informes bien y mal elaborados, discutiendo las diferencias observadas, constituye una estrategia didáctica eficaz para consolidar los criterios de comunicación científica escrita. Martín-Cudero (2024) destaca que estos informes constituyen, además, un producto tangible que sintetiza el trabajo desarrollado a lo largo de todo el proyecto experimental.

Esta competencia de elaboración de informes constituye, en definitiva, el cierre natural del tratamiento de herramientas computacionales desarrollado en la presente sección. Ofrecer una plantilla básica de informe, con secciones claramente definidas, facilita que los estudiantes organicen de manera coherente la información generada a lo largo de su proyecto experimental. Un informe bien elaborado

constituye, en la práctica, el producto final más visible y evaluable del trabajo experimental desarrollado a lo largo del proyecto STEAM.

4.3. Simulación de fenómenos físicos

Las simulaciones computacionales complementan la experimentación directa al permitir explorar fenómenos físicos bajo condiciones controladas e incluso difíciles de reproducir en el aula. Esta sección examina el papel de la simulación como complemento metodológico, la modificación controlada de parámetros, la comparación entre comportamiento simulado y observado, y los límites que toda simulación conlleva para la explicación científica. De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026), en su revisión sistemática sobre simulaciones PhET, documentan tanto el potencial como los riesgos de un uso acrítico de esta tecnología.

4.3.1. Simulación como complemento de la experimentación

Las simulaciones computacionales permiten explorar el comportamiento de un fenómeno físico mediante un modelo matemático implementado digitalmente, complementando, sin sustituir, el trabajo experimental directo con fenómenos reales. De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026), en una revisión sistemática sobre el uso de simulaciones PhET en la enseñanza de la física, destacan el potencial de estas herramientas para ofrecer experiencias de aprendizaje interactivas y visuales. Esta complementariedad resulta particularmente valiosa cuando el fenómeno físico de interés resulta difícil, costoso o peligroso de reproducir directamente en el aula, situación en la que la simulación permite explorar su comportamiento sin las limitaciones prácticas del montaje experimental real.

Conviene, sin embargo, presentar la simulación explícitamente como un complemento y no como un sustituto de la experimentación directa, distinción que se desarrollará con mayor profundidad en la última subsección de esta sección, dedicada a los límites de las simulaciones. Presentar a los estudiantes casos en los que la simulación y la experimentación directa arrojaron resultados coincidentes, y casos en los que difirieron, ilustra concretamente esta relación de complementariedad. De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026) señalan que esta complementariedad resulta especialmente valiosa en contextos con recursos de laboratorio limitados.

Esta complementariedad entre simulación y experimentación constituye, en síntesis, el principio rector que orienta todo el tratamiento de las simulaciones desarrollado en esta sección. Iniciar el trabajo con una simulación sencilla, antes de abordar el montaje experimental correspondiente, permite que los estudiantes formen expectativas previas que después contrastarán con la experiencia real. Esta articulación entre simulación y experimentación constituye, en definitiva, una de las señas de identidad más valoradas del trabajo STEAM contemporáneo.

4.3.2. Modificación controlada de parámetros

Una de las principales ventajas de las simulaciones computacionales reside en la posibilidad de modificar parámetros del fenómeno estudiado de manera controlada e instantánea, explorando así un rango de condiciones que resultaría costoso o inviable reproducir físicamente. De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026) documentan que esta capacidad de exploración paramétrica constituye uno de los aportes pedagógicos más valorados en la literatura revisada sobre simulaciones PhET. Esta modificación controlada de parámetros permite, además, aislar el efecto de una

variable específica sobre el comportamiento del sistema, manteniendo constantes las demás condiciones con una precisión que resulta difícil de igualar en un montaje experimental físico sujeto a fuentes de variación no siempre controlables.

Ros et al. (2026) señalan que esta exploración paramétrica mediante simulación complementa adecuadamente el trabajo con variables independientes, dependientes y de control desarrollado en el primer capítulo de este libro, ofreciendo un espacio adicional para consolidar dicha comprensión conceptual. Proponer a los estudiantes que predigan, antes de modificar un parámetro en la simulación, qué esperan observar refuerza la conexión entre el pensamiento hipotético y la exploración paramétrica facilitada por la herramienta. Esta modificación controlada de parámetros permite, además, explorar rápidamente escenarios extremos que resultarían imposibles o peligrosos de reproducir físicamente.

Esta exploración paramétrica constituye, en definitiva, una de las razones principales por las que las simulaciones enriquecen considerablemente el trabajo experimental STEAM. Proponer a los estudiantes que elaboren una tabla de predicciones para distintos valores de un parámetro, antes de modificarlo en la simulación, refuerza la conexión entre hipótesis y exploración paramétrica. La posibilidad de repetir instantáneamente una simulación bajo distintas condiciones constituye, en la práctica, una ventaja pedagógica difícil de igualar con el montaje experimental físico correspondiente.

4.3.3. Comparación entre comportamiento simulado y observado

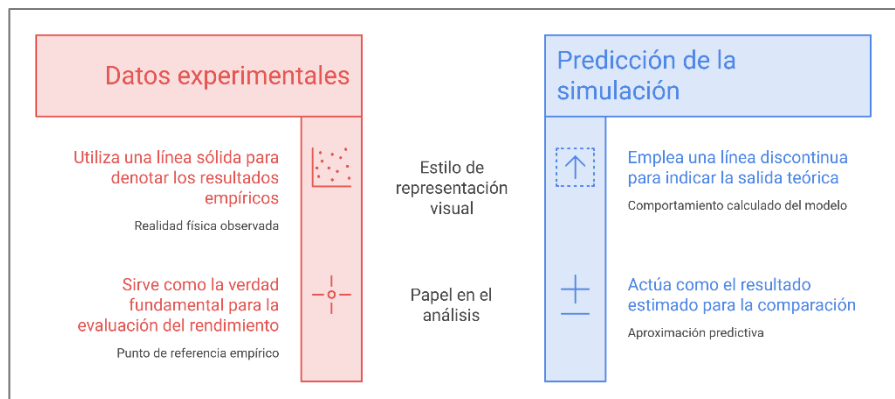
Contrastar el comportamiento predicho por una simulación con el comportamiento efectivamente observado en un experimento físico real constituye una práctica formativa particularmente valiosa, pues

expone a los estudiantes a las diferencias entre un modelo idealizado y un fenómeno sujeto a las complejidades del mundo físico real. De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026) señalan que esta comparación explícita favorece resultados de aprendizaje superiores a los obtenidos con la simulación empleada de manera aislada. Esta comparación permite, además, discutir explícitamente qué simplificaciones asume el modelo simulado y cómo estas simplificaciones explican las discrepancias observadas respecto del comportamiento real del fenómeno estudiado experimentalmente.

Gil y Rodríguez (2001) recomiendan documentar sistemáticamente estas discrepancias, en lugar de descartarlas como simples imperfecciones del montaje experimental, pues su análisis cuidadoso suele revelar aspectos relevantes tanto del modelo simulado como del fenómeno físico real. Documentar explícitamente, en una tabla comparativa, los valores obtenidos mediante simulación y mediante experimentación directa facilita visualizar de manera ordenada las discrepancias encontradas entre ambos enfoques. Esta práctica de comparación explícita fortalece, adicionalmente, la comprensión de que todo modelo matemático simplifica necesariamente el fenómeno físico real que pretende describir.

Esta práctica de contraste constituye, en síntesis, el mecanismo formativo central que conecta la simulación computacional con la experimentación física directa. Organizar una discusión grupal específicamente dedicada a las diferencias observadas entre simulación y experimento enriquece considerablemente la interpretación colectiva de dichas discrepancias. Esta práctica de contraste sistemático constituye, en definitiva, uno de los ejercicios más formativos que un proyecto STEAM puede ofrecer a sus participantes.

Figura 12. Comparación entre comportamiento simulado y respuesta experimental



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026).

La figura contrasta el comportamiento predicho por una simulación con el comportamiento efectivamente observado en un montaje experimental real, evidenciando visualmente las discrepancias que suelen originarse en las simplificaciones propias de todo modelo simulado. Esta comparación explícita constituye la práctica formativa central discutida en el texto de esta subsección.

4.3.4. Exploración de situaciones difíciles de reproducir

Las simulaciones computacionales permiten explorar situaciones físicas que resultan difíciles, peligrosas o costosas de reproducir directamente en el contexto escolar, ampliando considerablemente el repertorio de fenómenos accesibles para el trabajo STEAM. De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026) documentan aplicaciones de simulaciones en el estudio de fenómenos electromagnéticos y de física moderna que difícilmente podrían abordarse experimentalmente con los recursos habituales de un laboratorio escolar. Esta posibilidad de exploración amplía, en

consecuencia, el alcance temático del enfoque STEAM más allá de los fenómenos que admiten un montaje experimental sencillo y económico, sin renunciar por ello al pensamiento científico riguroso que caracteriza a este enfoque.

Conviene, no obstante, que esta exploración de situaciones difíciles de reproducir se acompañe siempre de una discusión explícita sobre las limitaciones del modelo simulado empleado, tema que se desarrolla en la subsección siguiente. Seleccionar cuidadosamente qué fenómenos abordar mediante simulación, reservando la experimentación directa para aquellos que resultan viables en el aula, optimiza el uso combinado de ambos recursos a lo largo del curso. De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026) documentan aplicaciones exitosas de este tipo en la enseñanza de fenómenos ondulatorios y de electromagnetismo.

Esta ampliación del repertorio de fenómenos accesibles constituye, en definitiva, uno de los aportes más valorados de las simulaciones dentro del trabajo STEAM. Presentar a los estudiantes ejemplos de fenómenos históricamente estudiados primero mediante simulación y posteriormente confirmados experimentalmente ilustra el valor exploratorio legítimo de este recurso. Esta exploración de fenómenos difíciles de reproducir amplía, en la práctica, el horizonte temático disponible para el trabajo experimental escolar STEAM.

4.3.5. Límites de las simulaciones en la explicación científica

Toda simulación computacional se construye a partir de un modelo matemático que necesariamente simplifica el fenómeno físico real, simplificación que conviene reconocer explícitamente para evitar atribuir a la simulación una capacidad explicativa que excede sus supuestos y limitaciones. De Medeiros Júnior, Duarte Naia y de Oliveira Lopes (2026) advierten que un uso acrítico de las simulaciones, sin discusión de sus supuestos subyacentes, puede favorecer

concepciones erróneas sobre el fenómeno estudiado. Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que ninguna simulación sustituye la evidencia empírica obtenida mediante experimentación directa con fenómenos reales, y que su valor pedagógico depende precisamente de emplearla como complemento explícito de dicha experimentación, y no como sustituto definitivo de ella.

Reconocer estos límites constituye, en consecuencia, un componente indispensable de la formación científica que este libro busca promover, pues evita que la atractiva interactividad de las simulaciones eclipse la comprensión crítica de sus alcances y limitaciones. Solicitar a los estudiantes que identifiquen por escrito al menos una simplificación del modelo simulado empleado fortalece su comprensión crítica de los límites propios de cualquier representación computacional. Gil y Rodríguez (2001) insisten en que esta actitud crítica frente a la simulación forma parte del mismo pensamiento científico riguroso que se cultiva a lo largo de todo este libro.

Este reconocimiento crítico de límites cierra, en consecuencia, el tratamiento de las simulaciones desarrollado en la presente sección del capítulo. Proponer un ejercicio breve en el que los estudiantes listen qué variables del fenómeno real la simulación no representa consolida de manera concreta esta comprensión crítica de sus límites. Este reconocimiento crítico de los límites de la simulación acompaña, en definitiva, una comprensión más madura y matizada del papel de la tecnología en la ciencia.

4.4. Construcción y prototipado para comprobar principios

La dimensión de ingeniería propia del enfoque STEAM se expresa de manera concreta en el diseño, la construcción y la optimización de prototipos que comprueban principios físicos estudiados. Esta sección recorre el diseño de dispositivos experimentales sencillos, la selección

de materiales según sus propiedades físicas, la construcción de prototipos funcionales, el ciclo de pruebas y ajustes, y la evaluación cuantitativa final del desempeño obtenido. Perales y Aróstegui (2021) destacan que este componente de diseño constituye uno de los aportes más distintivos de la ingeniería al trabajo STEAM.

4.4.1. Diseño de dispositivos experimentales sencillos

Diseñar dispositivos experimentales sencillos permite a los estudiantes aplicar directamente principios físicos estudiados, trasladando el conocimiento conceptual hacia una realización material concreta. Perales y Aróstegui (2021) señalan que este componente de diseño, propio de la dimensión de ingeniería dentro del enfoque STEAM, complementa la observación y el análisis desarrollados en capítulos anteriores de este libro. El diseño de un dispositivo experimental sencillo exige, en primer lugar, identificar con claridad qué principio físico se desea comprobar o ilustrar, decisión que orienta posteriormente la selección de materiales y la configuración específica del dispositivo a construir.

Ros et al. (2026) recomiendan que este diseño inicial se documente mediante un boceto o esquema previo, práctica que facilita anticipar posibles dificultades de construcción antes de invertir tiempo y materiales en la realización física del dispositivo. Revisar en conjunto varios bocetos de diseño antes de seleccionar uno para su construcción permite anticipar colectivamente posibles dificultades y enriquecer la propuesta final mediante retroalimentación temprana. Perales y Aróstegui (2021) señalan que este diseño inicial constituye una manifestación temprana del pensamiento de ingeniería dentro del proyecto STEAM en su conjunto.

Este diseño inicial constituye, en definitiva, el primer paso de un proceso que se desarrolla progresivamente a lo largo de toda esta sección del capítulo. Organizar una revisión cruzada entre equipos,

donde cada grupo comente el diseño propuesto por otro, enriquece la fase de diseño mediante retroalimentación externa antes de iniciar la construcción. Un diseño inicial bien planificado reduce, en la práctica, el número de ajustes necesarios durante las etapas posteriores de construcción del prototipo.

4.4.2. Selección de materiales según propiedades físicas

La selección de materiales para la construcción de un dispositivo experimental debe fundamentarse en las propiedades físicas relevantes para el principio que se desea comprobar, y no únicamente en la disponibilidad o el costo de dichos materiales. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan considerar propiedades como la rigidez, la densidad o la conductividad térmica, según el fenómeno físico que el dispositivo pretenda ilustrar. Esta selección informada de materiales constituye, en sí misma, una aplicación práctica del conocimiento físico desarrollado en capítulos anteriores, pues exige anticipar cómo las propiedades de cada material afectarán el comportamiento del dispositivo construido.

Perales y Aróstegui (2021) señalan que esta articulación entre conocimiento físico y decisiones de diseño constituye uno de los aportes más valiosos de la dimensión de ingeniería dentro del trabajo STEAM, al exigir una comprensión funcional y no meramente declarativa de los principios físicos estudiados. Elaborar una tabla comparativa de materiales disponibles, junto con sus propiedades físicas relevantes, facilita que los estudiantes fundamenten con mayor solidez su decisión final de selección. Esta selección informada de materiales evita, además, decisiones basadas únicamente en la apariencia o disponibilidad inmediata de recursos en el aula.

Esta selección fundamentada de materiales constituye, en síntesis, una aplicación práctica y tangible del conocimiento físico desarrollado en capítulos anteriores. Proponer a los estudiantes que justifiquen por

escrito, en pocas líneas, por qué descartaron un material alternativo fortalece la fundamentación física de su decisión final de selección. Esta selección informada de materiales constituye, en definitiva, uno de los aprendizajes más transferibles del trabajo de ingeniería hacia contextos profesionales futuros.

4.4.3. Construcción de prototipos funcionales

Construir un prototipo funcional exige traducir el diseño planificado en un dispositivo físico operativo, proceso que con frecuencia revela dificultades prácticas no anticipadas durante la fase de diseño conceptual. Ros et al. (2026) señalan que esta etapa de construcción suele requerir ajustes sobre la marcha, ajustes que forman parte natural del proceso de ingeniería y no deben interpretarse como fracasos del diseño original. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan documentar durante la construcción cualquier modificación introducida respecto del diseño original, información que resulta valiosa tanto para comprender el funcionamiento final del prototipo como para futuras réplicas o mejoras del dispositivo.

Esta construcción de prototipos funcionales constituye, en consecuencia, una instancia privilegiada para integrar el conocimiento físico, matemático y técnico desarrollado a lo largo de todo el proyecto STEAM en un producto concreto y tangible. Fomentar que los estudiantes registren fotográficamente las distintas etapas de construcción del prototipo constituye una práctica sencilla que enriquece considerablemente la documentación final del proyecto. Ros et al. (2026) señalan que esta etapa de construcción suele resultar particularmente motivadora para los estudiantes, al materializar de manera tangible su trabajo previo de diseño.

Esta construcción de prototipos funcionales constituye, en definitiva, el momento en que el proyecto STEAM adquiere una expresión material concreta. Establecer puntos de control intermedios durante la

construcción, donde el docente revise brevemente el avance de cada equipo, permite corregir a tiempo desviaciones significativas respecto del diseño original. La construcción efectiva de un prototipo funcional constituye, en la práctica, uno de los logros más satisfactorios y motivadores dentro de un proyecto STEAM extendido.

4.4.4. Pruebas, modificaciones y optimización

Una vez construido, todo prototipo experimental debe someterse a pruebas sistemáticas que permitan valorar su funcionamiento y detectar aspectos susceptibles de mejora. Perales y Aróstegui (2021) destacan que este ciclo de prueba y ajuste, característico de la ingeniería, refuerza además la tolerancia a la incertidumbre que resulta indispensable para el trabajo científico en su conjunto. Ros et al. (2026) recomiendan registrar sistemáticamente los resultados de cada prueba realizada, junto con las modificaciones introducidas posteriormente, de modo que el proceso de optimización quede documentado y pueda analizarse retrospectivamente al finalizar el proyecto.

Esta optimización progresiva del prototipo constituye, en consecuencia, una aplicación práctica del pensamiento iterativo propio del método científico, en el que cada ciclo de prueba y ajuste acerca el dispositivo a un funcionamiento cada vez más consistente con el principio físico que pretende ilustrar. Establecer criterios explícitos de éxito antes de iniciar las pruebas del prototipo evita que la evaluación de su funcionamiento resulte subjetiva o dependiente exclusivamente de la impresión visual del resultado obtenido. Esta documentación sistemática de pruebas y ajustes permite, además, reconstruir posteriormente la lógica completa del proceso de optimización desarrollado.

Este ciclo de pruebas y ajustes constituye, en síntesis, el corazón metodológico del proceso de ingeniería desarrollado en la presente

sección. Proponer a los estudiantes que definan, antes de iniciar las pruebas, qué constituiría un resultado exitoso y qué constituiría un resultado que amerite modificación evita ambigüedades durante la evaluación del prototipo. Este ciclo iterativo de prueba y mejora constituye, en definitiva, una de las competencias más valiosas y transferibles que el trabajo de ingeniería aporta a la formación STEAM.

Tabla 18. Registro de pruebas y modificaciones durante la optimización de prototipos

N.º de prueba	Resultado observado	Modificación introducida
1	Funcionamiento parcial	Ajuste de un componente estructural
2	Mejora respecto a la prueba anterior	Cambio de material en una pieza
3	Funcionamiento consistente con lo esperado	Sin modificaciones adicionales

Nota. Elaboración propia con base en Perales y Aróstegui (2021); Ros et al. (2026).

La tabla documenta tres iteraciones sucesivas de prueba y ajuste sobre un prototipo, mostrando cómo cada modificación introducida responde a un resultado observado en la prueba anterior. Este registro secuencial ejemplifica el ciclo iterativo de optimización descrito en el texto, y ofrece un formato replicable para documentar el propio proceso de construcción.

4.4.5. Evaluación cuantitativa del funcionamiento obtenido

Evaluar cuantitativamente el funcionamiento de un prototipo exige aplicar los mismos criterios de medición, incertidumbre y análisis desarrollados a lo largo de este libro, en lugar de conformarse con una valoración puramente cualitativa de si el dispositivo funciona o no

funciona. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan definir indicadores numéricos específicos que permitan comparar objetivamente el desempeño del prototipo con el comportamiento esperado según el principio físico estudiado. Cano et al. (2011) señalan que esta evaluación cuantitativa debe acompañarse, igualmente, de una estimación de la incertidumbre asociada a los indicadores medidos, de modo que las conclusiones sobre el desempeño del prototipo mantengan el mismo rigor metodológico exigido para cualquier otro resultado experimental presentado en este libro.

Esta evaluación cuantitativa del funcionamiento obtenido cierra, en consecuencia, el ciclo de diseño y construcción desarrollado en esta sección, articulando el trabajo de ingeniería con el análisis matemático riguroso propio del enfoque STEAM. Comparar el desempeño cuantitativo de prototipos construidos por distintos equipos, bajo los mismos criterios de evaluación, enriquece la discusión colectiva sobre qué decisiones de diseño resultaron más efectivas. Cano et al. (2011) recuerdan que ningún resultado cuantitativo, incluido el desempeño de un prototipo, resulta interpretable sin su incertidumbre asociada correspondiente.

Esta evaluación cuantitativa final constituye, en definitiva, el criterio objetivo que determina el éxito del proceso de diseño y construcción desarrollado en esta sección. Organizar una breve presentación final, donde cada equipo comunique el desempeño cuantitativo de su prototipo junto con su incertidumbre asociada, consolida esta práctica de evaluación rigurosa. Una evaluación cuantitativa rigurosa del prototipo constituye, en la práctica, el criterio más objetivo disponible para valorar el éxito del proceso de diseño desarrollado.

4.5. Integración tecnológica en proyectos experimentales STEAM

Integrar tecnología de manera significativa en un proyecto STEAM exige subordinar cada herramienta empleada a un problema físico claramente definido. Esta sección cierra el capítulo articulando la selección combinada de instrumentos y herramientas digitales, la obtención de evidencias confiables, el análisis interdisciplinario de los hallazgos y su comunicación mediante recursos visuales y digitales. Ros et al. (2026) señalan que esta integración coherente, y no la sola acumulación de tecnología, distingue a los proyectos STEAM metodológicamente más sólidos.

4.5.1. Definición de problemas susceptibles de exploración

Integrar tecnología de manera significativa en un proyecto experimental STEAM exige, en primer lugar, definir con claridad el problema físico que se desea explorar, de modo que la tecnología empleada responda a una necesidad genuina del proyecto y no se incorpore como un añadido superficial. Martín-Cudero (2024) advierte que esta subordinación de la tecnología al propósito pedagógico constituye un criterio central para evaluar la calidad de una propuesta STEAM. Ros et al. (2026) recomiendan que esta definición del problema se realice de manera colaborativa entre los estudiantes y el docente, favoreciendo que el proyecto resulte significativo y motivador para quienes habrán de desarrollarlo a lo largo de varias sesiones de trabajo.

Un problema bien definido orienta, en consecuencia, todas las decisiones tecnológicas posteriores del proyecto, desde la selección de sensores hasta la elección de herramientas de simulación o de construcción de prototipos discutidas en las secciones anteriores de este capítulo. Organizar una sesión inicial de lluvia de ideas, centrada exclusivamente en la definición del problema y no en las herramientas tecnológicas a emplear, evita que la tecnología condicione

prematuramente el enfoque del proyecto. Martín-Cudero (2024) recuerda que un problema bien definido constituye la base sobre la que se sostiene la coherencia de todo el proyecto STEAM desarrollado posteriormente.

Esta definición cuidadosa del problema constituye, en síntesis, el fundamento sobre el que se apoya toda la integración tecnológica desarrollada en la presente sección final. Proponer a los estudiantes que redacten el problema de su proyecto en una sola oración clara y verificable ayuda a evitar planteamientos excesivamente amplios o difusos desde el inicio del trabajo. Una definición clara y compartida del problema constituye, en definitiva, la condición necesaria para que la integración tecnológica posterior resulte coherente y significativa.

4.5.2. Selección combinada de instrumentos y herramientas digitales

Un proyecto STEAM integral suele combinar distintos tipos de instrumentos y herramientas digitales, desde sensores de captura automática hasta hojas de cálculo y simulaciones, combinación que exige una planificación cuidadosa de cómo cada herramienta contribuye al propósito general del proyecto. Marín-Marín et al. (2021) documentan que los proyectos STEAM más consistentes suelen integrar varias de estas tecnologías de manera articulada, en lugar de emplear una única herramienta de manera aislada. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan evaluar, para cada etapa del proyecto, cuál combinación específica de instrumentos y herramientas digitales resulta más apropiada, evitando tanto la subutilización de recursos disponibles como la incorporación de tecnología innecesaria que no aporte valor al proceso experimental.

Esta selección combinada exige, en consecuencia, una visión integral del proyecto que articule coherentemente los distintos recursos tecnológicos discutidos a lo largo de este capítulo, desde la captura de

datos hasta su procesamiento y comunicación final. Elaborar un cronograma que anticipe en qué etapa del proyecto se empleará cada herramienta tecnológica facilita una planificación más ordenada y evita la incorporación improvisada de recursos digitales. Marín-Marín et al. (2021) señalan que esta articulación coherente de herramientas distingue a los proyectos STEAM más consistentes de aquellos que emplean tecnología de manera fragmentada.

Esta selección combinada de herramientas constituye, en definitiva, la manifestación práctica de la integración STEAM que este capítulo ha desarrollado en su conjunto. Revisar en conjunto, al final del proyecto, si todas las herramientas tecnológicas empleadas resultaron efectivamente necesarias fomenta una reflexión crítica sobre la integración tecnológica realizada. Esta articulación cuidadosa de herramientas constituye, en la práctica, el rasgo distintivo de un proyecto STEAM maduro frente a uno que simplemente acumula tecnología sin propósito claro.

Tabla 19. Integración de instrumentos y herramientas digitales según el propósito experimental

Etapa del proyecto	Instrumento o herramienta	Propósito
Captura de datos	Sensor digital	Registrar la magnitud física estudiada
Procesamiento	Hoja de cálculo	Organizar y calcular estadísticos
Exploración conceptual	Simulación	Comparar comportamiento simulado y real
Comunicación	Recursos visuales digitales	Presentar los hallazgos obtenidos

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Marín-Marín et al. (2021).

La tabla organiza cuatro etapas de un proyecto STEAM, captura, procesamiento, exploración conceptual y comunicación, junto con el instrumento o herramienta más apropiado para cada una y su propósito específico. Esta organización por etapas sintetiza la articulación tecnológica coherente que se propone a lo largo del capítulo, evitando la incorporación de herramientas sin un propósito claramente definido.

4.5.3. Obtención de evidencias mediante experiencias prácticas

La integración tecnológica en un proyecto STEAM debe orientarse, en última instancia, a la obtención de evidencias empíricas confiables que permitan responder al problema físico planteado, propósito que no debe subordinarse al atractivo tecnológico de las herramientas empleadas. Cano et al. (2011) recuerdan que los criterios de calidad y confiabilidad de la evidencia, desarrollados en el segundo capítulo de este libro, se mantienen plenamente vigentes independientemente del grado de sofisticación tecnológica del proyecto. Ros et al. (2026) señalan que esta obtención de evidencias mediante experiencias prácticas constituye el núcleo central del marco STEAM-5E, al que todas las herramientas tecnológicas discutidas en este capítulo deben, en definitiva, subordinarse como medios y no como fines en sí mismos.

Esta orientación hacia la obtención de evidencias confiables refuerza, en consecuencia, la coherencia metodológica de todo el proyecto STEAM, articulando la tecnología empleada con los principios de rigor experimental desarrollados a lo largo de este libro. Recordar explícitamente a los estudiantes, en cada etapa del proyecto, que el propósito central sigue siendo responder al problema físico planteado ayuda a mantener esta orientación incluso en proyectos tecnológicamente ambiciosos. Cano et al. (2011) subrayan que ningún avance tecnológico exime del cumplimiento riguroso de los criterios de calidad de la evidencia desarrollados a lo largo de este libro.

Esta orientación hacia la evidencia confiable constituye, en síntesis, el hilo conductor que atraviesa la totalidad del capítulo y del libro en su conjunto. Recordar a los estudiantes, mediante preguntas orientadoras explícitas, que la evidencia obtenida debe responder directamente al problema planteado inicialmente evita desviaciones temáticas durante el desarrollo del proyecto. Esta orientación constante hacia la evidencia confiable constituye, en definitiva, el criterio último que determina el valor científico genuino de cualquier proyecto STEAM desarrollado.

4.5.4. Análisis interdisciplinario de los hallazgos

Los hallazgos obtenidos en un proyecto STEAM se enriquecen considerablemente cuando se analizan desde las distintas perspectivas disciplinares involucradas, en lugar de limitarse a una interpretación exclusivamente física o exclusivamente matemática de los resultados. Perales y Aróstegui (2021) sostienen que este análisis interdisciplinario constituye precisamente la fortaleza distintiva del enfoque STEAM frente a propuestas didácticas centradas en una única disciplina. Marín-Marín et al. (2021) documentan que los proyectos que incorporan explícitamente esta mirada interdisciplinaria en el análisis final de sus hallazgos tienden a mostrar un desarrollo más consistente de competencias de pensamiento científico integrado entre los estudiantes participantes.

Este análisis interdisciplinario exige, en consecuencia, dedicar tiempo explícito a discutir los hallazgos desde cada una de las disciplinas involucradas en el proyecto, en lugar de asumir que la sola combinación de herramientas tecnológicas diversas garantiza automáticamente esta integración conceptual. Organizar mesas de discusión donde participen estudiantes con distintas afinidades disciplinares, comentando los mismos hallazgos desde sus respectivas perspectivas, enriquece considerablemente este análisis

interdisciplinario. Perales y Aróstegui (2021) destacan que este análisis interdisciplinario constituye, en definitiva, el resultado formativo más distintivo y valioso del enfoque STEAM en su conjunto.

Este análisis interdisciplinario constituye, en definitiva, la culminación conceptual del enfoque STEAM desarrollado a lo largo de los capítulos precedentes. Solicitar que el informe final del proyecto incluya explícitamente una sección dedicada a las conexiones interdisciplinarias identificadas fortalece institucionalmente esta práctica de análisis integrado. Este análisis interdisciplinario constituye, en la práctica, el resultado formativo que mejor distingue a un proyecto STEAM de una simple secuencia de actividades tecnológicas aisladas.

4.5.5. Comunicación científica mediante recursos visuales y digitales

Comunicar los hallazgos de un proyecto STEAM mediante recursos visuales y digitales cuidadosamente elaborados constituye la etapa final de un proceso que integra la experimentación, el análisis matemático y el diseño tecnológico desarrollados a lo largo de este libro. Martín-Cudero (2024) señala que esta comunicación final debe mantener el mismo rigor metodológico exigido en cada etapa previa del proyecto, evitando que la calidad visual de la presentación sustituya la solidez del contenido científico comunicado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que esta comunicación incluya explícitamente las incertidumbres, los límites y las posibles líneas de continuidad del trabajo realizado, en lugar de presentar únicamente los resultados favorables obtenidos durante el proyecto.

Esta comunicación científica final constituye, en definitiva, el cierre natural del recorrido metodológico desarrollado a lo largo de los cuatro capítulos de este libro, y sienta las bases para el trabajo de aplicación experimental que se desarrolla en el capítulo siguiente. Ofrecer a los

estudiantes ejemplos de comunicación científica efectiva, provenientes de fuentes confiables, ayuda a establecer un estándar de calidad claro para la presentación final de su propio proyecto STEAM. Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que la honestidad en la comunicación de resultados constituye un principio que atraviesa la totalidad del trabajo científico desarrollado a lo largo de este libro.

Esta comunicación científica final cierra, en consecuencia, el tratamiento de la integración tecnológica desarrollado en este capítulo, y prepara el trabajo de aplicación experimental que se desarrolla en el capítulo siguiente. Organizar una presentación pública del proyecto, ante audiencias distintas al propio curso, ofrece una motivación adicional para cuidar especialmente la calidad de la comunicación científica final. El conjunto de competencias desarrolladas en este capítulo cierra, en definitiva, el tratamiento de las tecnologías y recursos STEAM que sustentan el trabajo experimental descrito en este libro.



CAPÍTULO 5

**Aplicación Experimental para la
Construcción del Conocimiento Científico**



Capítulo 5. Aplicación Experimental para la Construcción del Conocimiento Científico

5.1. Estudio del movimiento mediante medición y análisis

El estudio del movimiento constituye una de las aplicaciones más accesibles y a la vez más completas de los principios metodológicos desarrollados en los capítulos anteriores. Esta sección recorre el registro experimental de posición y tiempo, la determinación de velocidad y aceleración, el contraste entre el comportamiento observado y las predicciones matemáticas del movimiento, y la elaboración de explicaciones fundamentadas en la evidencia recolectada. Gil y Rodríguez (2001) ofrecen el marco experimental central que sostiene este recorrido cinemático.

5.1.1. Registro experimental de posición y tiempo

El estudio del movimiento comienza, en su forma más elemental, con el registro sistemático de la posición de un objeto en distintos instantes de tiempo, procedimiento que integra directamente los criterios de medición desarrollados en el segundo capítulo de este libro. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan emplear métodos de registro que minimicen el error de paralaje y el tiempo de reacción del observador, fuentes de incertidumbre particularmente relevantes en experiencias de cinemática. Cano et al. (2011) señalan que la incertidumbre asociada al registro del tiempo suele constituir la fuente dominante de error en experiencias sencillas de movimiento realizadas con instrumentos manuales, lo que justifica prestar especial atención a este aspecto durante el diseño del procedimiento experimental.

Este registro cuidadoso de posición y tiempo constituye, en consecuencia, la base empírica sobre la cual se construirán las magnitudes derivadas de velocidad y aceleración que se desarrollan en

las subsecciones siguientes de esta sección. Practicar este registro con un fenómeno sencillo y accesible, como el desplazamiento de un objeto sobre una mesa, permite que los estudiantes consoliden el procedimiento antes de abordar fenómenos cinemáticos más exigentes. Gil y Rodríguez (2001) señalan que este cuidado en el registro inicial condiciona directamente la calidad de todo el análisis cinemático desarrollado posteriormente en la experiencia.

Este registro cuidadoso constituye, en definitiva, el punto de partida indispensable para todo el análisis cinemático desarrollado en el resto de esta sección. Proponer que distintos integrantes del equipo registren de manera independiente la misma serie de mediciones permite discutir posteriormente la consistencia entre observadores del procedimiento empleado. Un registro inicial cuidadoso reduce, en la práctica, la necesidad de repetir por completo la experiencia debido a datos insuficientes o mal documentados.

5.1.2. Determinación de velocidad a partir de datos

La velocidad de un objeto en movimiento se determina, a partir de los datos de posición y tiempo registrados, como la razón de cambio de la posición respecto del tiempo, cálculo que retoma directamente los conceptos de pendiente y tasa de cambio desarrollados en el tercer capítulo de este libro. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan calcular esta velocidad a partir de intervalos de tiempo suficientemente pequeños para aproximar razonablemente la velocidad instantánea del objeto estudiado. Baird (1991) señala que la incertidumbre de la velocidad calculada depende tanto de la incertidumbre de las mediciones de posición como de la de los intervalos de tiempo empleados, relación de propagación que fue tratada con detalle en el segundo capítulo de este libro.

Esta determinación experimental de la velocidad permite, en consecuencia, contrastar el comportamiento observado del objeto con

las predicciones que se derivan de los modelos matemáticos del movimiento estudiados en capítulos anteriores. Comparar la velocidad calculada a partir de intervalos de tiempo distintos ofrece una oportunidad concreta para ilustrar cómo la elección de dicho intervalo afecta la aproximación obtenida a la velocidad instantánea. Baird (1991) recuerda que la velocidad calculada de esta manera constituye siempre una aproximación cuya calidad depende directamente de la resolución temporal del instrumento empleado.

Esta determinación experimental de la velocidad constituye, en síntesis, la primera magnitud derivada que se obtiene a partir del registro cinemático inicial. Discutir con los estudiantes qué ocurriría si el intervalo de tiempo empleado fuera excesivamente grande ayuda a anticipar conceptualmente el límite hacia la velocidad instantánea. El manejo fluido de este cálculo prepara, en la práctica, el terreno para el estudio de aceleración que se desarrolla en la subsección siguiente.

5.1.3. Interpretación de aceleración mediante representaciones gráficas

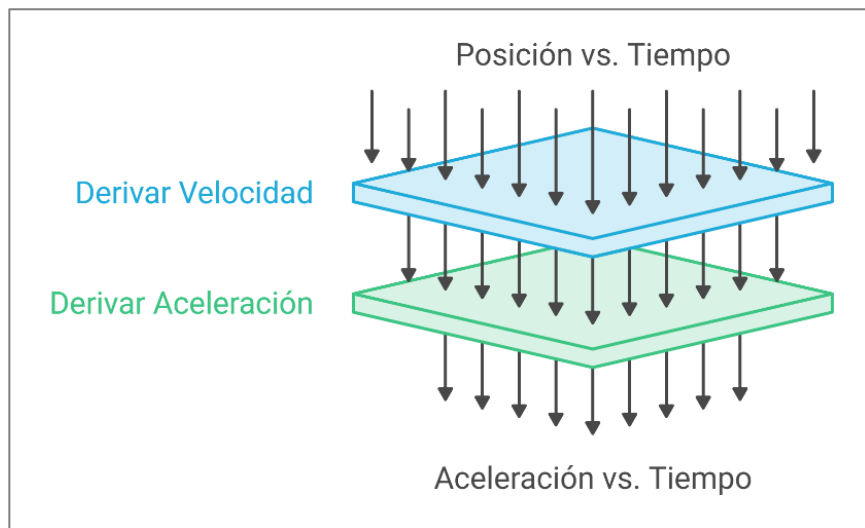
La aceleración de un objeto en movimiento puede interpretarse gráficamente como la pendiente de un gráfico de velocidad contra tiempo, extensión directa del tratamiento de pendientes desarrollado en el tercer capítulo de este libro. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan construir este gráfico a partir de los valores de velocidad calculados previamente, prestando atención a la incertidumbre asociada a cada punto representado. Un gráfico de velocidad contra tiempo con pendiente constante señala un movimiento uniformemente acelerado, mientras que variaciones en dicha pendiente indican cambios en la aceleración que ameritan una interpretación física cuidadosa del fenómeno estudiado.

Esta interpretación gráfica de la aceleración constituye, en consecuencia, una aplicación directa e integradora de los conceptos

matemáticos y físicos desarrollados a lo largo de los capítulos anteriores de este libro, aplicados ahora a un fenómeno cinemático concreto. Superponer, en un mismo gráfico, los datos de velocidad correspondientes a distintos ensayos del mismo experimento permiten valorar visualmente la consistencia del comportamiento observado entre repeticiones. Esta interpretación gráfica de la aceleración permite, además, anticipar cualitativamente el tipo de fuerza neta que actúa sobre el objeto estudiado durante el movimiento.

Esta interpretación gráfica constituye, en definitiva, uno de los ejercicios más integradores del análisis matemático aplicado al estudio del movimiento. Proponer ejercicios en los que los estudiantes esbocen cualitativamente la forma esperada del gráfico antes de construirlo con los datos reales refuerza su comprensión conceptual previa. Esta lectura gráfica de la aceleración fortalece, en la práctica, la conexión entre el análisis matemático y la comprensión física del movimiento estudiado.

Figura 13. Interpretación gráfica de posición, velocidad y aceleración



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001).

La figura conecta los tres gráficos cinemáticos fundamentales, posición, velocidad y aceleración en función del tiempo, mostrando cómo cada uno se deriva matemáticamente del anterior mediante el cálculo de pendientes sucesivas. Esta integración visual sintetiza el recorrido completo desarrollado en las subsecciones anteriores de esta sección.

5.1.4. Contraste entre comportamiento observado y predicción matemática

Contrastar el comportamiento observado de un objeto en movimiento con las predicciones derivadas de un modelo matemático, como las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado, permite valorar la adecuación de dicho modelo para describir el fenómeno estudiado. Baird (1991) recomienda emplear el mismo procedimiento de ajuste y análisis de residuos desarrollado en el tercer capítulo de este libro para realizar este contraste de manera rigurosa. Gil y Rodríguez (2001) señalan que las discrepancias observadas entre el comportamiento real y el modelo matemático suelen originarse en factores como la fricción o la resistencia del aire, factores que un modelo simplificado inicial puede no haber considerado explícitamente.

Este contraste cuidadoso entre observación y predicción constituye, en consecuencia, una aplicación concreta del proceso de modelización matemática desarrollado en el tercer capítulo de este libro, aplicado ahora al estudio experimental del movimiento. Discutir explícitamente con los estudiantes qué factores físicos podrían explicar una discrepancia observada refuerza la conexión entre el análisis matemático y la comprensión física del fenómeno estudiado. Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que ningún modelo cinemático simplificado describe perfectamente un movimiento real, por lo que cierto grado de discrepancia resulta esperable y no necesariamente indica un error experimental.

Este contraste entre observación y predicción constituye, en síntesis, el criterio decisivo para valorar la adecuación del modelo cinemático empleado. Comparar los resultados obtenidos por distintos equipos que estudiaron el mismo movimiento bajo condiciones similares enriquece la discusión sobre la consistencia del contraste realizado. Un contraste bien documentado entre observación y predicción constituye, en la práctica, evidencia sólida para sustentar las conclusiones finales del estudio del movimiento.

5.1.5. Elaboración de explicaciones fundamentadas en evidencias

Elaborar una explicación fundamentada sobre el movimiento estudiado exige integrar los datos registrados, el análisis matemático realizado y el conocimiento físico previo sobre las fuerzas que actúan sobre el objeto, en una narrativa coherente que dé cuenta del comportamiento observado. Ros et al. (2026) señalan que esta elaboración de explicaciones fundamentadas constituye el propósito culminante del ciclo de indagación propio del marco STEAM-5E. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que esta explicación reconozca explícitamente los límites y las incertidumbres del análisis realizado, en lugar de presentar una conclusión categórica que exceda lo que la evidencia experimental efectivamente respalda.

Esta elaboración de explicaciones fundamentadas en evidencias cierra, en consecuencia, el estudio del movimiento desarrollado en la presente sección, integrando de manera práctica los principios metodológicos desarrollados a lo largo de todo este libro. Solicitar que la explicación final incluya una referencia explícita a los datos concretos que la respaldan evita conclusiones genéricas desconectadas de la evidencia experimental recolectada. Ros et al. (2026) señalan que esta elaboración de explicaciones fundamentadas constituye, dentro del marco STEAM-5E, el momento en que el conocimiento adquirido se consolida de manera duradera.

Esta elaboración de explicaciones constituye, en definitiva, el cierre natural del estudio del movimiento desarrollado en la presente sección. Solicitar una revisión por pares de las explicaciones elaboradas, entre distintos equipos de trabajo, fortalece la calidad argumentativa de las conclusiones presentadas. Una explicación bien fundamentada constituye, en la práctica, el resultado más valioso de todo el proceso de estudio del movimiento desarrollado en esta sección.

5.2. Exploración de energía, trabajo y transformaciones

El estudio experimental de la energía exige identificar sus distintas formas presentes en un sistema, medir el trabajo y la potencia asociados a un proceso físico, y construir un balance cuantitativo que dé cuenta de sus transformaciones. Esta sección desarrolla estos elementos junto con el análisis de pérdidas y eficiencia, y la interpretación integral de las transformaciones energéticas observadas. Gil y Rodríguez (2001) proporcionan el tratamiento experimental de referencia para cada una de estas magnitudes.



5.2.1. Identificación de formas de energía en sistemas experimentales

Identificar las distintas formas de energía presentes en un sistema experimental, como la energía cinética, potencial o térmica, constituye el primer paso para analizar cuantitativamente sus transformaciones a lo largo de un proceso físico. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan elaborar, antes de iniciar la experimentación, un inventario explícito de las formas de energía involucradas en el sistema estudiado. Esta identificación exige distinguir con precisión entre la energía que posee el sistema en un instante dado y la energía que se transfiere hacia dicho sistema durante el proceso estudiado, distinción conceptual que resulta indispensable para el análisis del balance energético.

Un inventario cuidadoso de las formas de energía presentes facilita, en consecuencia, anticipar qué magnitudes deberán medirse experimentalmente para cuantificar posteriormente las transformaciones energéticas que tienen lugar en el sistema estudiado. Elaborar este inventario de manera colaborativa, mediante una discusión grupal previa al montaje experimental, enriquece la comprensión conceptual de las formas de energía involucradas en el sistema estudiado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan revisar este inventario nuevamente al finalizar el experimento, verificando si surgieron formas de energía no anticipadas durante la planificación inicial.

Esta identificación de formas de energía constituye, en síntesis, el fundamento conceptual sobre el que se apoya todo el análisis energético desarrollado en esta sección. Proponer ejemplos cotidianos adicionales, más allá del sistema experimental específico, ayuda a consolidar la identificación general de formas de energía en distintos contextos. Un inventario energético completo facilita, en la práctica, anticipar con mayor precisión qué instrumentos de medición resultarán necesarios durante la experimentación.

5.2.2. Medición de variables asociadas con trabajo y potencia

Medir experimentalmente el trabajo realizado sobre un sistema exige registrar tanto la fuerza aplicada como el desplazamiento producido, magnitudes cuya medición cuidadosa retoma directamente los criterios de instrumentación desarrollados en el segundo capítulo de este libro. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan verificar que la fuerza medida corresponda efectivamente a la componente que realiza trabajo sobre el sistema, distinción que exige comprensión clara de la geometría del montaje experimental. La potencia, entendida como la rapidez con que se realiza trabajo, se determina a partir de la medición adicional del tiempo empleado en dicho proceso, magnitud cuya incertidumbre se combina con la del trabajo mediante los procedimientos de propagación desarrollados en el segundo capítulo de este libro.

Esta medición cuidadosa de trabajo y potencia constituye la base cuantitativa sobre la cual se construirá el balance energético que se aborda en la subsección siguiente de esta sección. Verificar mediante un diagrama simple la dirección de la fuerza aplicada respecto del desplazamiento ayuda a evitar errores conceptuales frecuentes en el cálculo experimental del trabajo realizado. Esta medición cuidadosa de trabajo y potencia retoma directamente los criterios de precisión y exactitud desarrollados en el segundo capítulo de este libro.

Esta medición de trabajo y potencia constituye, en definitiva, el puente cuantitativo entre el diseño experimental y el balance energético que se desarrolla a continuación. Organizar una breve verificación cruzada entre equipos, comparando sus mediciones de fuerza y desplazamiento para montajes equivalentes, fortalece la confianza en los datos obtenidos. Una medición cuidadosa de estas variables constituye, en la práctica, la garantía de un balance energético posterior confiable y bien fundamentado.

5.2.3. Balance energético a partir de resultados cuantitativos

Construir un balance energético exige contabilizar cuidadosamente todas las formas de energía presentes al inicio y al final del proceso estudiado, verificando si la energía total se conserva dentro de la incertidumbre experimental estimada. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan presentar este balance de manera explícita, mediante una tabla que contraste la energía inicial, la energía final y la diferencia observada entre ambas. Cano et al. (2011) señalan que una diferencia significativa entre la energía inicial y final, mayor que la incertidumbre combinada del proceso, señala la presencia de transferencias de energía no consideradas explícitamente en el balance original, situación que exige revisar el inventario de formas de energía realizado previamente.

Este balance energético cuantitativo constituye, en consecuencia, una aplicación directa del principio de conservación de la energía al análisis experimental de un sistema físico concreto, integrando los criterios de medición e incertidumbre desarrollados en capítulos anteriores. Presentar el balance energético mediante un diagrama de flujo, además de la tabla numérica correspondiente, facilita la comprensión visual de cómo se distribuye la energía a lo largo del proceso estudiado.

Cano et al. (2011) recuerdan que ningún balance energético resulta interpretable sin considerar explícitamente la incertidumbre asociada a cada término del balance realizado. Este balance energético constituye, en síntesis, la aplicación experimental más directa del principio de conservación de la energía desarrollada en esta sección. Proponer que los estudiantes representen el balance energético mediante distintas formas, tanto numérica como gráfica, refuerza la comprensión integral de este análisis cuantitativo. Un balance energético bien documentado constituye, en la práctica, evidencia concreta de la aplicación del principio de conservación de la energía al caso estudiado.

5.2.4. Análisis de pérdidas y eficiencia

Todo proceso físico real involucra, en mayor o menor medida, pérdidas de energía hacia formas no aprovechables para el propósito del sistema estudiado, con frecuencia disipadas como calor debido a la fricción u otros mecanismos disipativos. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan cuantificar estas pérdidas explícitamente, comparando la energía efectivamente aprovechada con la energía total suministrada al sistema. La eficiencia de un sistema, definida como la razón entre la energía útil obtenida y la energía total suministrada, constituye un indicador cuantitativo valioso para comparar el desempeño de distintos sistemas o distintas configuraciones de un mismo sistema experimental.

Este análisis de pérdidas y eficiencia conecta directamente con los criterios de comparación cuantitativa entre conjuntos de datos desarrollados en el tercer capítulo de este libro, aplicados ahora a la evaluación energética de sistemas físicos concretos. Comparar la eficiencia obtenida experimentalmente con valores de referencia reportados para sistemas similares enriquece la interpretación del resultado propio dentro de un contexto más amplio. Gil y Rodríguez (2001) señalan que identificar la fuente principal de pérdidas orienta, además, posibles mejoras de diseño para incrementar la eficiencia del sistema estudiado.

Este análisis de eficiencia constituye, en definitiva, un criterio comparativo valioso que trasciende el caso específico del sistema experimental estudiado. Discutir posibles modificaciones concretas al montaje experimental que podrían reducir las pérdidas identificadas convierte este análisis en un ejercicio propositivo y no solamente descriptivo. Un análisis de eficiencia bien fundamentado permite, en la práctica, comparar objetivamente distintos diseños o configuraciones del sistema experimental estudiado.

5.2.5. Interpretación de transformaciones energéticas

Interpretar las transformaciones energéticas observadas en un sistema experimental exige articular el balance cuantitativo realizado con una comprensión cualitativa de los mecanismos físicos responsables de cada transformación identificada. Ros et al. (2026) señalan que esta articulación entre cuantificación y comprensión mecanicista constituye un objetivo formativo central del enfoque STEAM aplicado al estudio de la energía. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan complementar el análisis cuantitativo con una representación esquemática de las transformaciones energéticas identificadas, recurso visual que facilita comunicar de manera clara el comportamiento energético completo del sistema estudiado.

Esta interpretación de las transformaciones energéticas cierra, en consecuencia, el estudio de energía, trabajo y transformaciones desarrollado en la presente sección, integrando los criterios de medición, análisis matemático y comunicación científica desarrollados a lo largo de este libro. Solicitar a los estudiantes que expliquen, en sus propias palabras, hacia dónde se dirigió la energía no aprovechada consolida la comprensión cualitativa que complementa el análisis cuantitativo realizado.

Ros et al. (2026) destacan que esta interpretación cualitativa complementa adecuadamente el rigor cuantitativo exigido a lo largo de todo el análisis energético desarrollado en esta sección. Esta interpretación de transformaciones energéticas cierra, en consecuencia, el estudio de energía desarrollado en la presente sección del capítulo. Cerrar esta sección con una discusión colectiva sobre la relevancia cotidiana del principio de conservación de la energía conecta el trabajo experimental con la vida diaria de los estudiantes. Una interpretación completa de las transformaciones energéticas constituye, en la práctica, el cierre natural del análisis energético desarrollado en esta sección.

5.3. Análisis experimental de fenómenos térmicos

Los fenómenos térmicos ofrecen un contexto particularmente rico para aplicar de manera integrada los métodos de medición y análisis matemático desarrollados a lo largo de este libro. Esta sección aborda el registro de cambios de temperatura, la construcción e interpretación de curvas térmicas, la comparación entre materiales, el estudio de los mecanismos de transferencia de calor y la formulación de conclusiones fundamentadas en los datos obtenidos. Gil y Rodríguez (2001) constituyen la referencia experimental central de este análisis térmico.

5.3.1. Registro de cambios de temperatura

Registrar sistemáticamente los cambios de temperatura de un sistema a lo largo del tiempo constituye la base empírica del análisis de fenómenos térmicos, y exige seleccionar un instrumento de medición cuya resolución resulte adecuada para las variaciones esperadas del fenómeno estudiado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan registrar la temperatura a intervalos de tiempo regulares, decisión que retoma directamente los criterios de frecuencia de muestreo desarrollados en el cuarto capítulo de este libro. Este registro debe documentar, además, las condiciones ambientales bajo las cuales se realizó la medición, pues la temperatura del entorno puede influir significativamente en el comportamiento térmico del sistema estudiado, especialmente en procesos prolongados de calentamiento o enfriamiento. Un registro cuidadoso de estos cambios de temperatura constituye, en consecuencia, la base sobre la cual se construirán las curvas térmicas que se desarrollan en la subsección siguiente de esta sección.

Verificar la estabilidad del instrumento de temperatura antes de iniciar el registro formal evita atribuir erróneamente al fenómeno estudiado

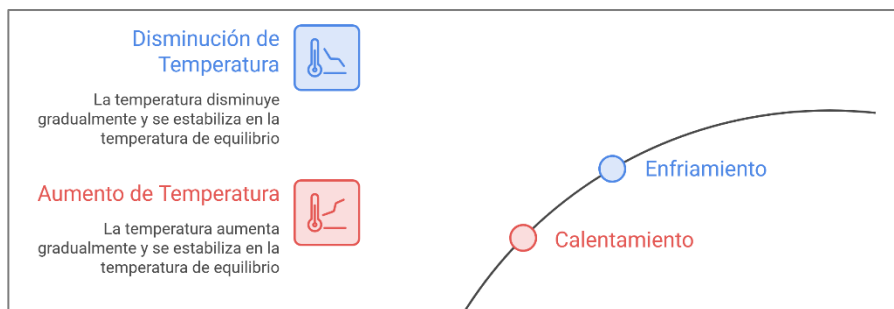
variaciones que en realidad provienen del propio sensor empleado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan repetir este registro en más de una ocasión, aplicando los criterios de repetibilidad desarrollados en el segundo capítulo de este libro. Este registro térmico constituye, en definitiva, el fundamento empírico indispensable para el análisis de curvas térmicas que se desarrolla a continuación. Proponer que los estudiantes justifiquen la frecuencia de registro elegida para su experiencia térmica particular refuerza la aplicación consciente de los criterios técnicos discutidos previamente. Un registro térmico bien planificado facilita, en la práctica, la construcción posterior de curvas térmicas interpretables y confiables.

5.3.2. Construcción e interpretación de curvas térmicas

Una curva térmica representa gráficamente la evolución de la temperatura de un sistema en función del tiempo, y su construcción retoma directamente los criterios de representación gráfica desarrollados en el tercer capítulo de este libro. Gil y Rodríguez (2001) señalan que estas curvas suelen presentar un comportamiento exponencial en procesos de enfriamiento o calentamiento hacia el equilibrio con el ambiente, comportamiento que puede linealizarse mediante la transformación logarítmica discutida en el capítulo tercero. Interpretar correctamente una curva térmica exige, además, reconocer sus distintos tramos característicos, como la fase de cambio rápido inicial y la fase de aproximación asintótica hacia la temperatura de equilibrio, tramos que reflejan distintos mecanismos físicos del proceso de transferencia de calor. Esta construcción e interpretación de curvas térmicas constituye, en consecuencia, una aplicación integradora de los métodos matemáticos de análisis gráfico y ajuste de datos desarrollados en el tercer capítulo de este libro, aplicados ahora al estudio experimental de fenómenos térmicos.

Comparar la curva térmica obtenida con curvas de referencia reportadas para procesos similares ofrece un criterio adicional para valorar la razonabilidad del comportamiento observado experimentalmente. Esta linealización mediante transformación logarítmica retoma directamente el tratamiento de relaciones exponenciales desarrollado en el tercer capítulo de este libro. Esta construcción de curvas térmicas constituye, en síntesis, una aplicación directa e integradora del análisis gráfico desarrollado en el tercer capítulo de este libro. Solicitar que los estudiantes identifiquen, en su propia curva térmica, los distintos tramos característicos discutidos teóricamente consolida esta interpretación de manera práctica y personalizada. Una curva térmica bien construida constituye, en la práctica, una herramienta valiosa para comunicar de manera clara el comportamiento del sistema estudiado.

Figura 14. Curvas térmicas obtenidas durante procesos de calentamiento y enfriamiento



Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001).

La figura ilustra el comportamiento característico de una curva térmica, con una fase de cambio rápido inicial seguida de una aproximación asintótica hacia la temperatura de equilibrio, patrón discutido en el texto de esta subsección. Reconocer estos tramos característicos facilita interpretar correctamente los datos térmicos obtenidos en el trabajo experimental.

5.3.3. Comparación del comportamiento de distintos materiales

Comparar el comportamiento térmico de distintos materiales, sometidos a condiciones experimentales comparables, permite identificar diferencias en propiedades como la capacidad calorífica o la conductividad térmica que caracterizan a cada material estudiado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan mantener constantes todas las condiciones experimentales, salvo el material bajo estudio, para garantizar que las diferencias observadas resulten atribuibles efectivamente a las propiedades térmicas del material. Esta comparación retoma directamente los criterios de comparación cuantitativa entre conjuntos de mediciones desarrollados en el tercer capítulo de este libro, aplicados ahora a la evaluación de propiedades térmicas de materiales distintos.

Una comparación cuidadosa del comportamiento térmico de distintos materiales resulta, además, particularmente relevante para el estudio de la eficiencia térmica que se aborda posteriormente en la última sección de este capítulo. Presentar los resultados de distintos materiales en un mismo gráfico comparativo facilita que los estudiantes visualicen directamente las diferencias en comportamiento térmico entre ellos. Gil y Rodríguez (2001) señalan que estas diferencias entre materiales suelen explicarse por propiedades microscópicas que exceden el alcance experimental directo de este nivel educativo, pero que pueden mencionarse conceptualmente.

Esta comparación entre materiales constituye, en definitiva, un ejercicio experimental particularmente accesible y motivador dentro del trabajo STEAM propuesto. Proponer que los estudiantes anticipen, antes de medir, qué material esperan que muestre mejor desempeño térmico introduce un componente predictivo valioso en esta comparación experimental. Una comparación bien diseñada entre materiales constituye, en la práctica, evidencia sólida para fundamentar decisiones prácticas sobre selección de materiales.

5.3.4. Estudio de procesos de transferencia de calor

Estudiar experimentalmente los procesos de transferencia de calor, ya sea por conducción, convección o radiación, exige diseñar montajes específicos que permitan aislar, en la medida de lo posible, el mecanismo particular que se desea investigar. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan considerar cuidadosamente cómo minimizar la influencia de mecanismos de transferencia no deseados que podrían contaminar los resultados del estudio de un mecanismo específico. Este estudio de la transferencia de calor conecta directamente con el análisis de pérdidas y eficiencia desarrollado en la segunda sección de este capítulo, pues buena parte de las pérdidas energéticas observadas en sistemas físicos reales se explican precisamente por procesos de transferencia de calor no deseados.

Un estudio cuidadoso de estos procesos de transferencia constituye, en consecuencia, una aplicación práctica del análisis de sistemas físicos que integra la observación experimental con los principios físicos estudiados en capítulos anteriores de este libro. Discutir con los estudiantes ejemplos cotidianos de cada mecanismo de transferencia de calor ayuda a conectar el estudio experimental formal con situaciones familiares de su entorno inmediato. Este estudio de mecanismos de transferencia de calor conecta, asimismo, con decisiones cotidianas de eficiencia energética relevantes para el entorno inmediato de los estudiantes.

Este estudio de transferencia de calor constituye, en síntesis, una aplicación concreta del conocimiento físico desarrollado a lo largo de este libro. Discutir aplicaciones tecnológicas cotidianas de cada mecanismo de transferencia de calor, como el aislamiento térmico de una vivienda, enriquece la relevancia percibida de este estudio experimental. Un estudio cuidadoso de la transferencia de calor constituye, en la práctica, una base conceptual valiosa para el análisis de eficiencia térmica desarrollado posteriormente.

5.3.5. Formulación de conclusiones a partir de datos térmicos

Formular conclusiones a partir de datos térmicos exige integrar el análisis cuantitativo de las curvas obtenidas con una comprensión física de los mecanismos de transferencia de calor involucrados en el fenómeno estudiado. Ros et al. (2026) señalan que esta integración constituye una manifestación concreta del ciclo completo de indagación STEAM aplicado al estudio de fenómenos térmicos. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que estas conclusiones reconozcan explícitamente las condiciones específicas bajo las cuales fueron obtenidas, evitando generalizaciones que excedan el rango de temperaturas o materiales efectivamente estudiados durante la experimentación.

Esta formulación de conclusiones cierra, en consecuencia, el análisis experimental de fenómenos térmicos desarrollado en la presente sección, preparando el tratamiento de fenómenos ondulatorios que se aborda en la sección siguiente de este capítulo. Solicitar que las conclusiones incluyan explícitamente el rango de temperaturas estudiado refuerza la prudencia necesaria al comunicar resultados térmicos obtenidos experimentalmente. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan comparar las conclusiones obtenidas con el conocimiento teórico previo sobre transferencia de calor, verificando su coherencia mutua.

Esta formulación de conclusiones cierra, en consecuencia, el análisis experimental de fenómenos térmicos desarrollado en la presente sección del capítulo. Solicitar una breve reflexión escrita sobre qué preguntas adicionales surgieron durante el estudio térmico fomenta la continuidad del pensamiento científico más allá del experimento puntual realizado. Unas conclusiones bien fundamentadas constituyen, en la práctica, el resultado más valioso del análisis experimental de fenómenos térmicos desarrollado en esta sección.

5.4. Ondas, sonido y fenómenos periódicos

Los fenómenos ondulatorios permiten aplicar de manera concreta el tratamiento de funciones periódicas desarrollado en el tercer capítulo de este libro. Esta sección desarrolla la medición de frecuencia, período y amplitud, la representación matemática de oscilaciones, la obtención experimental de relaciones entre magnitudes, y el uso de tecnologías digitales accesibles para estudiar señales acústicas y mecánicas. Vogt y Kuhn (2012) documentan, con el estudio de un péndulo simple mediante sensores de teléfonos inteligentes, el potencial formativo de esta tecnología.



5.4.1. Medición de frecuencia, período y amplitud

Caracterizar experimentalmente un fenómeno ondulatorio exige medir con precisión su frecuencia, su período y su amplitud, magnitudes que retoman directamente el tratamiento de funciones periódicas desarrollado en el tercer capítulo de este libro. Vogt y Kuhn (2012) demuestran, con el estudio de un péndulo simple mediante el sensor de aceleración de un teléfono inteligente, cómo la tecnología digital facilita considerablemente esta caracterización. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan promediar la duración de varios ciclos consecutivos para determinar el período con mayor precisión, práctica que reduce la incertidumbre asociada a la medición de un único ciclo aislado, tal como se discutió en el tercer capítulo de este libro.

Esta medición cuidadosa de frecuencia, período y amplitud constituye la base cuantitativa sobre la cual se construirá la representación matemática del fenómeno oscilatorio que se desarrolla en la subsección siguiente. Practicar primero con un péndulo de longitud conocida y fácilmente ajustable permite que los estudiantes ganen confianza con el procedimiento de medición antes de explorar variaciones más complejas. Vogt y Kuhn (2012) destacan que esta tecnología permite, además, registrar un número considerablemente mayor de ciclos que los que resultarían practicables mediante cronometraje manual.

Esta caracterización de frecuencia, período y amplitud constituye, en definitiva, la base cuantitativa indispensable para el estudio de fenómenos ondulatorios. Proponer que los estudiantes comparen sus mediciones de período con las de otro equipo, usando un péndulo de longitud similar, ofrece una verificación adicional de la consistencia del procedimiento empleado. Una caracterización precisa de estos parámetros constituye, en la práctica, la base indispensable para cualquier análisis matemático posterior del fenómeno ondulatorio.

5.4.2. Representación matemática de oscilaciones

Representar matemáticamente un fenómeno oscilatorio exige seleccionar la función periódica apropiada, generalmente de tipo senoidal, y ajustar sus parámetros a partir de los datos experimentales de frecuencia, período y amplitud previamente medidos. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan verificar que el modelo matemático seleccionado describa adecuadamente el comportamiento observado a lo largo de varios ciclos completos, y no únicamente en un intervalo reducido de tiempo. Vogt y Kuhn (2012) muestran cómo esta representación matemática permite, además, distinguir entre oscilaciones libres y oscilaciones amortiguadas, estas últimas caracterizadas por una disminución progresiva de la amplitud a lo largo del tiempo debido a factores disipativos.

Esta representación matemática de las oscilaciones constituye, en consecuencia, una aplicación directa de los métodos de ajuste y modelización desarrollados en el tercer capítulo de este libro, aplicados ahora al estudio experimental de fenómenos periódicos. Superponer el modelo matemático ajustado sobre los datos experimentales originales, en un mismo gráfico, facilita valorar visualmente la calidad del ajuste logrado para la oscilación estudiada. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan verificar la coherencia entre el período obtenido mediante ajuste matemático y el período estimado directamente a partir de los datos originales.

Esta representación matemática de oscilaciones constituye, en síntesis, una aplicación directa de los métodos de ajuste desarrollados en el tercer capítulo de este libro. Solicitar que los estudiantes identifiquen visualmente, en su propio gráfico, la amplitud y el período de la oscilación representada consolida la lectura directa de estos parámetros característicos. Una representación matemática bien ajustada constituye, en la práctica, una herramienta predictiva valiosa para anticipar el comportamiento futuro de la oscilación estudiada.

5.4.3. Obtención experimental de relaciones entre magnitudes

Numerosos fenómenos ondulatorios permiten explorar relaciones matemáticas entre magnitudes físicas, como la dependencia del período de un péndulo respecto de su longitud, relación que puede determinarse experimentalmente mediante una serie sistemática de mediciones. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan variar deliberadamente una magnitud, como la longitud del péndulo, mientras se mantienen constantes las demás condiciones experimentales, aplicando así los criterios de control de variables desarrollados en el primer capítulo de este libro. Cano et al. (2011) señalan que este tipo de experiencias con péndulos constituye un contexto particularmente favorable para practicar el ajuste de datos y la estimación de parámetros físicos mediante linealización.

Esta obtención experimental de relaciones entre magnitudes constituye, en consecuencia, una aplicación integradora de los métodos de diseño experimental y análisis matemático desarrollados a lo largo de todo este libro, aplicados al estudio de fenómenos ondulatorios concretos. Organizar los datos de longitud y período en una tabla clara, antes de proceder al ajuste matemático, refuerza la disciplina de organización de datos desarrollada en capítulos anteriores de este libro. Esta relación entre longitud y período del péndulo constituye un ejemplo clásico y particularmente accesible para practicar los procedimientos de linealización desarrollados en el tercer capítulo de este libro. Esta obtención de relaciones entre magnitudes constituye, en definitiva, una síntesis práctica del diseño experimental y el análisis matemático desarrollados en este libro. Proponer que los estudiantes predigan, antes de medir, cómo variará el período al modificar la longitud del péndulo fomenta la conexión entre hipótesis previa y verificación experimental posterior. Una relación bien establecida entre magnitudes constituye, en la práctica, un resultado experimental sólido y transferible a otros contextos similares.

5.4.4. Uso de tecnologías digitales para estudiar señales

Las tecnologías digitales, particularmente los sensores incorporados en dispositivos móviles, han ampliado considerablemente las posibilidades de estudiar señales ondulatorias y acústicas en el contexto escolar, sin requerir instrumentación especializada costosa. Salinas, Giménez, Monsoriu y Castro-Palacio (2018) documentan experiencias que emplean el micrófono de un teléfono inteligente para caracterizar fenómenos acústicos como el batido, ilustrando el potencial de esta tecnología accesible. Esta disponibilidad tecnológica retoma directamente los criterios de integración de dispositivos digitales desarrollados en el cuarto capítulo de este libro, aplicados ahora específicamente al estudio de señales periódicas y ondulatorias.

Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que, independientemente de la sofisticación tecnológica empleada, los criterios de calibración, resolución y frecuencia de muestreo desarrollados en capítulos anteriores continúan siendo plenamente aplicables al estudio digital de señales ondulatorias. Explorar, junto con los estudiantes, las distintas aplicaciones de sensores disponibles en sus propios dispositivos amplían su percepción de la utilidad práctica de la tecnología que emplean cotidianamente. Gil y Rodríguez (2001) recuerdan que, más allá de la novedad tecnológica, el análisis riguroso de la señal obtenida sigue exigiendo los mismos criterios matemáticos desarrollados en capítulos anteriores.

Este uso de tecnologías digitales constituye, en síntesis, una extensión natural del tratamiento de instrumentación desarrollado en el cuarto capítulo de este libro. Organizar una breve exploración guiada de las aplicaciones de sensores disponibles en dispositivos móviles amplía la familiaridad práctica de los estudiantes con esta tecnología accesible. El uso responsable de tecnologías digitales constituye, en la práctica, una competencia transferible mucho más allá del estudio específico de fenómenos ondulatorios.

5.4.5. Interpretación de patrones ondulatorios

Interpretar los patrones ondulatorios observados en un conjunto de datos experimentales exige reconocer características visuales distintivas, como la periodicidad, la amplitud decreciente característica de un amortiguamiento, o la superposición de distintas frecuencias en un fenómeno de interferencia. Ros et al. (2026) señalan que este reconocimiento de patrones retoma directamente las competencias de análisis visual desarrolladas en el tercer capítulo de este libro. Vogt y Kuhn (2012) destacan que esta interpretación de patrones ondulatorios, cuando se apoya en tecnología digital accesible, permite a los estudiantes explorar fenómenos como los modos de vibración de osciladores acoplados con un nivel de detalle antes reservado a laboratorios especializados.

Esta interpretación de patrones ondulatorios cierra, en consecuencia, el estudio de ondas, sonido y fenómenos periódicos desarrollado en la presente sección, preparando el trabajo integrador de experiencias STEAM que se desarrolla en la última sección de este capítulo. Proponer a los estudiantes que identifiquen patrones ondulatorios en fenómenos cotidianos, más allá del laboratorio, refuerza la transferencia de esta competencia de reconocimiento visual a nuevos contextos. Vogt y Kuhn (2012) señalan que este tipo de interpretación detallada de patrones ondulatorios resulta especialmente motivadora para estudiantes que emplean cotidianamente dispositivos con estos sensores incorporados.

Esta interpretación de patrones ondulatorios cierra, en consecuencia, el estudio de ondas y fenómenos periódicos desarrollado en la presente sección del capítulo. Proponer a los estudiantes que comparen patrones ondulatorios de distintos fenómenos estudiados a lo largo del capítulo refuerza el reconocimiento transversal de estas características visuales comunes. Una interpretación cuidadosa de patrones ondulatorios constituye, en la práctica, una competencia central del pensamiento científico aplicado a fenómenos periódicos.

5.5. Experiencias STEAM para investigar situaciones del entorno

El capítulo y el libro cierran con experiencias STEAM que aplican el conjunto de principios, métodos y tecnologías desarrollados a situaciones significativas del entorno inmediato de los estudiantes. Esta sección aborda el análisis del movimiento mediante sensores móviles, la evaluación de la eficiencia térmica de materiales cotidianos, el estudio de la iluminación y el consumo energético en espacios educativos, la construcción de un prototipo integrador, y la presentación final de evidencias y conclusiones científicas. Salinas, Giménez, Monsoriu y Castro-Palacio (2018) ejemplifican, con experiencias basadas en sensores de teléfonos inteligentes, el tipo de investigación accesible y rigurosa que esta sección propone.

5.5.1. Análisis del movimiento mediante sensores de dispositivos móviles

Los sensores de aceleración incorporados en dispositivos móviles permiten estudiar experimentalmente fenómenos de movimiento sin requerir instrumentación especializada, integrando los criterios de cinemática desarrollados en la primera sección de este capítulo con la tecnología digital discutida en el cuarto capítulo del libro. Vogt y Kuhn (2012) documentan aplicaciones específicas de esta tecnología al estudio del movimiento pendular y circular. Salinas, Giménez, Monsoriu y Castro-Palacio (2018) destacan que esta disponibilidad tecnológica amplía considerablemente las posibilidades de investigación del movimiento en contextos educativos con recursos limitados, al aprovechar dispositivos que los propios estudiantes suelen poseer.

Este análisis del movimiento mediante sensores de dispositivos móviles constituye, en consecuencia, una síntesis práctica de los criterios de medición cinemática, análisis matemático e

instrumentación digital desarrollados a lo largo de este libro. Organizar una breve comparación entre los resultados obtenidos con distintos modelos de dispositivos móviles permite discutir la consistencia y las limitaciones de esta tecnología accesible. Esta síntesis de criterios metodológicos y tecnológicos ejemplifica de manera concreta la integración disciplinar propia del enfoque STEAM desarrollado a lo largo de este libro.

Este análisis del movimiento mediante sensores móviles constituye, en definitiva, una síntesis accesible de los principios cinemáticos desarrollados en la primera sección de este capítulo. Proponer que los estudiantes diseñen su propio breve experimento de movimiento usando un dispositivo móvil disponible fomenta la autonomía investigativa desarrollada a lo largo de este libro. Esta síntesis práctica evidencia, en definitiva, cómo la tecnología accesible puede sostener un trabajo experimental riguroso y metodológicamente sólido.

5.5.2. Evaluación experimental de la eficiencia térmica de materiales

Evaluar experimentalmente la eficiencia térmica de distintos materiales, como aislantes empleados en la construcción o en el empaque de alimentos, integra los criterios de análisis térmico desarrollados en la tercera sección de este capítulo con el análisis de eficiencia discutido en la segunda sección del mismo capítulo. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan diseñar montajes comparativos que permitan contrastar el comportamiento de distintos materiales bajo condiciones controladas equivalentes. Esta evaluación experimental conecta directamente con situaciones del entorno cotidiano de los estudiantes, favoreciendo la percepción de relevancia práctica que caracteriza a las experiencias STEAM mejor valoradas según Perales y Aróstegui (2021).

Una evaluación cuidadosa de la eficiencia térmica de materiales cotidianos permite, en consecuencia, aplicar de manera significativa el conjunto de herramientas metodológicas desarrolladas a lo largo de este libro a un problema con relevancia directa para la vida diaria de los estudiantes. Vincular esta evaluación con decisiones cotidianas, como la elección de materiales para conservar alimentos, refuerza la percepción de relevancia práctica del conocimiento científico desarrollado. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan documentar cuidadosamente las condiciones de cada ensayo comparativo, asegurando que las diferencias observadas resulten atribuibles al material y no a variaciones incontroladas del montaje.

Esta evaluación de eficiencia térmica constituye, en síntesis, una aplicación STEAM concreta y relevante para el entorno cotidiano de los estudiantes. Vincular esta evaluación con un problema concreto del entorno escolar, como el aislamiento de un espacio determinado, aumenta la relevancia percibida de esta experiencia STEAM integradora. Esta experiencia integradora evidencia, en definitiva, la aplicabilidad directa del conocimiento científico desarrollado a problemas concretos del entorno cotidiano.

5.5.3. Estudio de iluminación y consumo energético en espacios educativos

Estudiar la iluminación y el consumo energético en espacios educativos integra los criterios de análisis energético desarrollados en la segunda sección de este capítulo con mediciones de intensidad luminosa que pueden realizarse mediante sensores de luz ambiente disponibles en dispositivos móviles. Salinas, Giménez, Monsoriu y Castro-Palacio (2018) documentan experiencias que emplean precisamente este tipo de sensores para analizar la eficiencia de distintas fuentes de iluminación. Martín-Cudero (2024) señala que este tipo de experiencias, centradas en el entorno inmediato de los

estudiantes, favorece la comprensión de la relevancia práctica del conocimiento científico y matemático desarrollado a lo largo del curso.

Este estudio de iluminación y consumo energético constituye, en consecuencia, una aplicación STEAM significativa que articula la medición física, el análisis energético y la reflexión sobre el uso responsable de recursos en el propio entorno educativo de los estudiantes. Proponer que los estudiantes comparen sus mediciones con las especificaciones técnicas declaradas por los fabricantes de las fuentes de iluminación estudiadas enriquece la interpretación de los resultados obtenidos. Martín-Cudero (2024) señala que este tipo de experiencias, ancladas en el entorno inmediato, fortalece considerablemente la motivación de los estudiantes hacia el trabajo experimental desarrollado.

Este estudio de iluminación y consumo constituye, en definitiva, una experiencia integradora que articula la física, las matemáticas y la reflexión sobre el uso responsable de recursos. Proponer que los resultados de este estudio se compartan con la administración del centro educativo ofrece una aplicación práctica y significativa del trabajo experimental realizado por los estudiantes. Esta experiencia STEAM evidencia, en definitiva, cómo el conocimiento físico y matemático puede aplicarse a la reflexión sobre el uso responsable de recursos en el propio entorno escolar.

5.5.4. Construcción y prueba de un prototipo basado en principios físicos

Construir y probar un prototipo que aplique explícitamente principios físicos estudiados a lo largo de este libro integra los criterios de diseño y construcción desarrollados en el cuarto capítulo con el conocimiento físico específico desarrollado en las secciones anteriores de este capítulo final. Ros et al. (2026) señalan que este tipo de proyecto integrador constituye la culminación natural del ciclo completo de

indagación propio del marco STEAM-5E. Perales y Aróstegui (2021) destacan que estos prototipos integradores, al combinar conocimientos de distintas secciones del libro, favorecen particularmente el desarrollo de competencias de pensamiento sistémico entre los estudiantes participantes.

Esta construcción y prueba de un prototipo integrador constituye, en consecuencia, una síntesis práctica de las competencias de diseño, medición y análisis desarrolladas a lo largo de la totalidad de este libro. Fomentar que cada equipo seleccione un principio físico distinto para su prototipo integrador enriquece la diversidad de proyectos presentados al finalizar el curso. Perales y Aróstegui (2021) recuerdan que este tipo de proyecto integrador constituye, en definitiva, la expresión más completa del enfoque STEAM desarrollado a lo largo de todo este libro.

Esta construcción de un prototipo integrador constituye, en síntesis, la culminación práctica de todo el recorrido metodológico desarrollado a lo largo de este libro. Organizar una feria final donde cada equipo exhiba su prototipo integrador ofrece un cierre motivador y visible del trabajo desarrollado a lo largo de todo el curso. Esta construcción integradora evidencia, en definitiva, la capacidad de los estudiantes para aplicar de manera sintética el conocimiento desarrollado a lo largo de todo el curso.

5.5.5. Presentación de evidencias y argumentación de conclusiones científicas

La presentación final de evidencias y la argumentación de conclusiones científicas constituyen el cierre natural de cualquier proyecto STEAM desarrollado a lo largo de este libro, exigiendo integrar de manera coherente los datos recolectados, el análisis matemático realizado y la interpretación física de los resultados obtenidos. Ros et al. (2026) señalan que esta presentación final constituye, dentro del

marco STEAM-5E, la culminación explícita del ciclo completo de indagación científica. Gil y Rodríguez (2001) recomiendan que esta argumentación final incluya explícitamente las incertidumbres, los límites y las posibles líneas de continuidad del trabajo realizado, manteniendo el mismo rigor metodológico exigido en cada etapa previa del proyecto desarrollado.

Esta presentación de evidencias y argumentación de conclusiones cierra, en definitiva, el recorrido metodológico completo desarrollado a lo largo de los cinco capítulos de este libro, sintetizando de manera integrada los fundamentos, la medición, el análisis matemático, las tecnologías y la aplicación experimental del conocimiento científico en matemáticas y física desde el enfoque STEAM. Organizar una sesión final de presentación pública, ante compañeros de otros cursos o ante la comunidad educativa, ofrece una motivación adicional para cuidar especialmente esta argumentación de cierre.

Esta argumentación final constituye, en definitiva, la culminación del recorrido metodológico completo que este libro ha desarrollado desde sus fundamentos hasta su aplicación experimental concreta. El conjunto de experiencias desarrolladas en esta sección final ejemplifica, en definitiva, cómo los fundamentos, la medición, el análisis matemático y las tecnologías estudiadas en este libro convergen en aplicaciones experimentales significativas para la construcción del conocimiento científico en matemáticas y física desde el enfoque STEAM.

Cerrar el libro con una reflexión colectiva sobre el recorrido completo realizado, desde la observación inicial hasta la argumentación final, consolida la comprensión integral del proceso científico STEAM desarrollado. Este cierre integrador evidencia, en definitiva, que la construcción del conocimiento científico en matemáticas y física desde el enfoque STEAM constituye un proceso coherente, riguroso y aplicable a situaciones significativas del entorno de los estudiantes.

Tabla 20. Síntesis de evidencias, resultados y conclusiones de experiencias STEAM

Experiencia STEAM	Evidencia principal obtenida	Conclusión general
Movimiento con sensores móviles	Posición, velocidad y aceleración registradas	Contraste entre modelo cinemático y comportamiento real
Eficiencia térmica de materiales	Curvas de temperatura comparadas	Identificación del material con mejor desempeño aislante
Iluminación y consumo energético	Intensidad luminosa y potencia registradas	Relación entre eficiencia lumínica y consumo
Prototipo basado en principios físicos	Desempeño cuantitativo del dispositivo construido	Validación experimental del principio físico aplicado

Nota. Elaboración propia con base en Gil y Rodríguez (2001); Ros et al. (2026).

La tabla cierra el libro sintetizando las cuatro experiencias STEAM desarrolladas en la última sección, vinculando cada una con su evidencia principal y su conclusión general. Esta síntesis integradora ejemplifica cómo los principios, métodos y tecnologías desarrollados a lo largo de los cinco capítulos convergen en aplicaciones experimentales concretas y significativas.

Referencias

- Baird, D. C. (1991). Experimentación: una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos (2.^a ed.). Prentice Hall.
- Cano, J. A., Medina, M. H., & Llamosa, L. E. (2011). Metodología para la enseñanza de la estimación de la incertidumbre de medición en experimentos de física. *Scientia et Technica*, XVI(49), 207-211.
- Carmona-Mesa, J. A., Cardona Zapata, M. E., & Castrillón-Yepes, A. (2020). Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM. *Uni-Pluriversidad*, 20(1), 18-38. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.20.1.02>
- Comité Conjunto para las Guías en Metrología [JCGM]. (2008). Evaluación de datos de medición: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM) (versión en español, Centro Español de Metrología).
- De Medeiros Júnior, R. N., Duarte Naia, M. P., & de Oliveira Lopes, J. B. (2026). El uso de simulaciones PhET en la enseñanza de la física: una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 44(2), 5-27. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6230>
- Gil, S., & Rodríguez, E. (2001). Física re-Creativa: experimentos de física usando nuevas tecnologías. Prentice Hall.
- Marín-Marín, J. A., Moreno-Guerrero, A. J., Dúo-Terrón, P., & López-Belmonte, J. (2021). STEAM in education: A bibliometric analysis of performance and co-words in Web of Science. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00296-x>

- Martín-Cudero, D. (2024). Analysis of mathematics education from a STEAM approach at secondary and pre-university educational levels: A systematic review. *Journal of Technology and Science Education*, 14(1).
<https://www.jotse.org/index.php/jotse/article/view/2349>
- Obando, G., Vasco, C. E., & Arboleda, L. C. (2014). Enseñanza y aprendizaje de la razón, la proporción y la proporcionalidad: un estado del arte. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*.
- Oficina Internacional de Pesas y Medidas [BIPM]. (2019). El Sistema Internacional de Unidades (SI) (9.^a ed.). Bureau International des Poids et Mesures.
- OpenStax. (2016). Física universitaria volumen 1. Rice University.
<https://openstax.org/books/física-universitaria-volumen-1>
- Perales, F. J., & Aróstegui, J. L. (2021). The STEAM approach: Implementation and educational, social and economic consequences. *Arts Education Policy Review*.
<https://doi.org/10.1080/10632913.2021.1974997>
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). Similarities and proportions. In *The child's conception of space* (pp. 320-374). W. W. Norton & Company.
- Raviolo, A., Álvarez, M., & Aguilar, A. (2011). La hoja de cálculo en la enseñanza de la Física: re-creando simulaciones. *Revista de Enseñanza de la Física*, 24(1), 97-107.
- Ros, G., Rodríguez-Laguna, M. T., García-Varela, A. B., & Megías Martínez, C. (2026). STEAM-5E: A new methodological approach to STEAM based on a critical literature review. *Journal of Turkish Science Education*, 23(1), 133-163.
<https://doi.org/10.36681/tused.2026.007>



Salinas, I., Giménez, M. H., Monsoriu, J. A., & Castro-Palacio, J. C. (2018). El smartphone como barómetro en experimentos de Física. *Modelling in Science Education and Learning*, 11(1). <https://doi.org/10.4995/msel.2018.9021>

Vogt, P., & Kuhn, J. (2012). Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 50, 439-440. <https://doi.org/10.1119/1.4752056>



El libro **Matemáticas y Física Experimental desde STEAM** aborda la relación entre las matemáticas y la física experimental como elementos fundamentales para la comprensión y construcción del conocimiento científico. La obra propone un enfoque interdisciplinario basado en STEAM, que integra ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas para promover experiencias de aprendizaje orientadas a la observación, la experimentación y la resolución de problemas. Desde esta perspectiva, los fenómenos del entorno se convierten en oportunidades para que los estudiantes formulen preguntas, planteen hipótesis y desarrollen explicaciones sustentadas en evidencias.

A lo largo del texto se presentan métodos y procedimientos relacionados con la medición, el registro y el análisis de fenómenos físicos. Se destacan aspectos como el uso adecuado de instrumentos de medición, la identificación de magnitudes y unidades, la recopilación y organización de datos, la representación gráfica y matemática de resultados y la interpretación de relaciones entre variables. Estas herramientas permiten fortalecer el razonamiento lógico y científico, al mismo tiempo que favorecen la comprensión de la importancia de la precisión, la observación sistemática y el análisis crítico dentro de los procesos experimentales.

Finalmente, la obra resalta el valor de la experimentación como estrategia para transformar conceptos teóricos en experiencias concretas de aprendizaje. La aplicación del enfoque STEAM favorece la creatividad, la investigación, el trabajo colaborativo y la capacidad de resolver problemas mediante la integración de conocimientos de diferentes áreas. En conjunto, el libro constituye una propuesta educativa orientada a fortalecer el pensamiento matemático y científico, promoviendo que los estudiantes interpreten fenómenos, analicen evidencias y construyan conocimientos a partir de experiencias experimentales significativas.



ISBN: 978-9942-575-62-3



9 789942 575623