

Metodología **de la investigación** **científica** **para ciencias** **e ingeniería**

*Guía práctica paso a paso con ejemplos,
plantillas y ejercicios aplicados*

ISBN: 978-9942-679-98-7

Luis Antonio Flores Flores
Kosseth Marianella Bardales Grández
Miguel Angel Flores Flores
Arturo Seclén Medina
Maria Enith Alva Chirinos



Metodología de la investigación científica para ciencias e ingeniería

*Guía práctica paso a paso con ejemplos,
plantillas y ejercicios aplicados*

Metodología de la investigación científica para ciencias e ingeniería

*Guía práctica paso a paso con ejemplos,
plantillas y ejercicios aplicados*

Autores:

Luis Antonio Flores Flores
Kosseth Marianella Bardales Grández
Miguel Angel Flores Flores
Arturo Seclén Medina
Maria Enith Alva Chirinos

Universidad Nacional de la Amazonía Peruana

**Metodología de la investigación científica para ciencias e ingeniería.
Guía práctica paso a paso con ejemplos, plantillas y ejercicios aplicados**

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquiera otro, sin la autorización previa y por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

Copyright © 2026
Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador
Tel.: + (593) 04 2037524
<http://www.cidecuador.org>

ISBN: 978-9942-679-98-7

<https://doi.org/10.33996/cide.ecuador>.

Dirección editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo, Msc.
Coordinación técnica: Lic. María J. Delgado
Diseño gráfico: Lic. José Fuentes
Diagramación: Lic. Alba Gil
Fecha de publicación: mayo, 2026



Guayaquil – Ecuador

La presente obra fue evaluada por pares académicos
experimentados en el área

Catalogación en la Fuente

Metodología de la investigación científica para ciencias e ingeniería.
Guía práctica paso a paso con ejemplos, plantillas y ejercicios
aplicados / Luis Antonio Flores Flores, Kosseth Marianella Bardales
Grández, Miguel Angel Flores Flores, Arturo Seclén Medina y Maria
Enith Alva Chirinos. - Ecuador: Editorial CIDE, 2026.

437 p.: incluye tablas, figuras; 21,6 x 29,7 cm.

ISBN: 978-9942-679-98-7

1. Metodología de la investigación

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mi amada esposa María Enith Alva Chirinos, compañera incondicional y fuente permanente de fortaleza. Su cariño, paciencia y apoyo en cada etapa de este camino hicieron posible que hoy culmine este trabajo. Gracias por creer en mí aun en los momentos más difíciles.

A mis queridos hijos Anthoyne Engeel, Akovalevska Rashell y Akhiran Dhian Enith, quienes llenan mi vida de alegría y motivación. Cada uno de ustedes es una razón para seguir esforzándome, para ser mejor y para demostrar que los sueños se alcanzan con disciplina, perseverancia y fe. Su sonrisa y amor fueron mi impulso diario.

Esta obra no solo es un logro académico; es un legado para ustedes y un testimonio del valor de la constancia. Que este esfuerzo los inspire a luchar por sus propios sueños y a nunca rendirse.

Con todo mi amor.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis padres, Rubén Flores Díaz y María Paz Flores Vásquez, quienes han sido la base fundamental de mi vida. Su amor incondicional, sacrificio constante y valores firmes han guiado cada paso de mi formación personal y profesional. Gracias por enseñarme que la disciplina y la humildad son las herramientas más poderosas para alcanzar cualquier meta.

Extiendo mi gratitud a mis hermanos Kimber Andrei, Rubén, Nadia y Miguel Ángel, quienes, con su compañía, apoyo moral y palabras de aliento en los momentos más exigentes, fortalecieron mi determinación para culminar este trabajo académico. Su presencia en mi vida es una motivación permanente para seguir creciendo.

Agradezco también a mis colegas y amigos de la Facultad de Ingeniería Química, con quienes compartí largas horas de estudio, debates académicos y experiencias que enriquecieron mi perspectiva profesional. Su colaboración y camaradería hicieron de este camino un proceso más significativo y humano.

Mi reconocimiento especial a la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), institución que me brindó las herramientas, el conocimiento y los espacios necesarios para desarrollar esta investigación. A los docentes y personal académico, les agradezco su dedicación, su guía constante y su compromiso con la formación de profesionales íntegros para el país.

Finalmente, extiendo este agradecimiento a cada lector de este trabajo, pues es en ustedes donde la investigación encuentra su propósito. Confío en que las ideas aquí desarrolladas contribuyan a nuevas reflexiones, inspiren futuras investigaciones y aporten al avance de nuestra comunidad académica y profesional.

A todos ustedes, mi más sincero y profundo agradecimiento.

Índice

Dedicatoria	5
Agradecimiento	6
Presentación	12
Prólogo	14
Introducción	15
Parte I. Fundamentos de la investigación para ingenieros	18
Capítulo 1. Introducción a la investigación científica	20
1.1. ¿Qué es investigar?	20
1.2. Ciencia, conocimiento y método científico	21
1.3. Tipos y clasificación de la investigación científica	22
1.4. La investigación en ingeniería: características y retos	24
1.5. El ingeniero como solucionador de problemas científicos	25
1.6. Ejemplos de investigaciones ingenieriles	26
Capítulo 2. La observación de la realidad	33
2.1. Cómo identificar problemas reales	33
2.2. Fuentes de ideas de investigación en el entorno	34
2.3. Clasificación de problemas ingenieriles	35
2.4. Ejemplos: problemas en procesos, materiales, estructuras, sistemas, energía, ambiente, etc.	36
2.5. Técnicas simples para recolectar información preliminar	38
Parte II. Formulación y planeamiento de una investigación	47
Capítulo 3. Planteamiento del problema	49
3.1. ¿Qué es un problema de investigación?	50
3.2. Cómo redactar un problema central	50
3.3. Árbol de problemas para ingenieros (plantilla)	51
3.4. Preguntas científicas	53
3.5. Delimitación: espacio, tiempo, población y variables del sistema	54
3.6. Errores comunes al plantear un problema	55
3.7. Ejemplos prácticos	56

Capítulo 4. Objetivos de investigación	67
4.1. Diferencia entre objetivo general y específicos	68
4.2. Verbos adecuados para ingenieros	69
4.3. Cómo construir objetivos coherentes	70
4.4. Relación problema → objetivos	70
4.5. Plantilla de elaboración de objetivos	71
4.6. Ejemplos aplicados a diferentes ingenierías	72
Capítulo 5. Justificación	84
5.1. ¿Por qué justificar un estudio?	85
5.2. Justificación técnica	85
5.3. Justificación social	86
5.4. Justificación científica	87
5.5. Justificación económica	88
5.6. Preguntas guía para elaborar la justificación	88
5.7. Ejemplos didácticos	89
Capítulo 6. Marco teórico	103
6.1. ¿Qué es el marco teórico?	103
6.2. Funciones del marco teórico	104
6.3. Fuentes de información científica	104
6.4. Cómo realizar búsquedas efectivas	105
6.5. Cómo elaborar antecedentes (ejemplo completo)	107
6.6. Cómo construir una base teórica	107
6.7. Modelos, leyes, ecuaciones y principios para la ingeniería	109
6.8. Cómo citar y referenciar en APA	110
6.9. Ejemplo final de marco teórico	110
6.9.1. Antecedentes	110
6.9.2. Base conceptual	110
6.9.3. Modelos y ecuaciones	110
6.9.4. Relación con variables	111
6.9.5. Síntesis	111
Capítulo 7. Hipótesis, variables y matriz de consistencia	122
7.1. ¿Qué es una hipótesis?	122
7.2. Tipos de hipótesis	123
7.3. ¿Qué es una variable?	124
7.4. Tipos de variables para ingenieros	125
7.5. Operacionalización de variables	126
7.6. Construcción de la matriz de consistencia	127
7.7. Plantilla lista para usar	128
7.8. Ejemplos completos	128

Parte III. Diseño metodológico y operativo	142
Capítulo 8. Enfoques y tipos de investigación	144
8.1. Enfoque cuantitativo	145
8.2. Enfoque cualitativo	145
8.3. Enfoque mixto	146
8.4. Estudios descriptivos	146
8.5. Estudios correlacionales	148
8.6. Estudios experimentales	148
8.7. Estudios explicativos	148
8.8. Estudios tecnológicos e ingenieriles	149
8.9. Cuándo usar cada tipo de investigación y enfoque metodológico en ingeniería	150
Capítulo 9. Población y muestra	164
9.1. Población, unidades de estudio y sistemas físicos	165
9.2. Tamaño de muestra para datos experimentales	166
9.3. Muestreo probabilístico	167
9.4. Muestreo no probabilístico	169
9.5. Ejemplos de cálculo de muestra paso a paso	170
9.6. Selección de puntos de muestreo en procesos y ambientes	171
9.7. Caso práctico completo	172
Capítulo 10. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	186
10.1. Encuestas técnicas	187
10.2. Entrevistas	188
10.3. Observación estructurada	189
10.4. Fichas técnicas e inspecciones	189
10.5. Uso de sensores (temperatura, presión, flujo, ruido, calidad de aire, etc.)	190
10.6. Protocolos de medición	190
10.7. Validación y confiabilidad de instrumentos	191
10.8. Formatos y ejemplos	192
Capítulo 11. Procesamiento y análisis de datos	209
11.1. Limpieza y organización de datos	209
11.2. Estadística descriptiva para ingenieros	210
11.3. Pruebas estadísticas básicas	211
11.4. Uso de Excel	212
11.5. Uso de Python	212
11.6. Gráficos: lineales, barras, pasteles, dispersión, boxplot	213
11.7. Interpretación técnica	214
11.8. Ejercicios paso a paso	215

Parte IV. Investigación aplicada en ingeniería	232
Capítulo 12. Diseño experimental	234
12.1. Conceptos básicos	235
12.2. Variables controladas	235
12.3. Diseño completamente al azar	236
12.4. Diseño factorial	237
12.5. DOE para ingenieros	238
12.6. Ejemplos en laboratorio	239
12.7. Interpretación de resultados	240
Capítulo 13. Optimización aplicada a la ingeniería	257
13.1. ¿Qué es optimizar?	257
13.2. Modelos matemáticos	258
13.3. Métodos numéricos	259
13.4. Software de optimización	261
13.5. Ejemplos aplicados	263
Capítulo 14. Modelamiento y simulación	281
14.1. ¿Qué es modelar?	281
14.2. Tipos de modelos (físicos, matemáticos, computacionales)	282
14.3. Cómo validar un modelo	283
14.4. Simulación en software especializado	284
14.5. Caso práctico	285
Capítulo 15. Investigación e innovación tecnológica	304
15.1. Prototipos	304
15.2. MVP (Producto Mínimo Viable)	305
15.3. Pruebas piloto	305
15.4. Evaluación costo-beneficio	306
15.5. Ejemplos reales	307
Parte V. Elaboración y presentación del informe final	319
Capítulo 16. Estructura del informe de tesis	319
16.1. Capítulos	319
16.2. Cómo redactar cada sección	322
16.3. Plantilla completa de tesis	325

Capítulo 17. Presentación de resultados	333
17.1. Cómo mostrar tablas	333
17.2. Cómo mostrar gráficos	334
17.3. Discusión de resultados	335
17.4. Errores comunes	336
Capítulo 18. Artículo científico para ingenieros	345
18.1. Estructura IMRyD	346
18.2. Resumen	347
18.3. Palabras clave	348
18.4. Conclusiones	348
18.5. Revisión por pares	349
Capítulo 19. Sustentación oral del proyecto o tesis	357
19.1. Cómo construir diapositivas efectivas	358
19.2. Guion de presentación	359
19.3. Cómo responder preguntas del jurado	361
19.4. Técnicas para hablar con seguridad	362
Referencias	406
Anexos	412
Plantillas de matrices	412
Formatos de encuestas	416
Plantilla de tesis completa	421
Listado de verbos para objetivos	425
Plantilla de marco teórico	430
Informe final de investigación	432
Semblanza de los autores	436

La ingeniería, en todas sus ramas, es una disciplina orientada a la solución de problemas reales. Sin embargo, en la práctica profesional y académica, muchos estudiantes y jóvenes ingenieros enfrentan una dificultad recurrente: saben resolver problemas técnicos, pero no siempre logran transformar esos problemas en investigaciones científicas claras, bien formuladas y metodológicamente sólidas.

Este libro nace precisamente para cerrar esa brecha.

Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros ha sido elaborada con un enfoque didáctico, accesible y altamente práctico, pensado no solo para enseñar teoría, sino para acompañar paso a paso el proceso completo de investigación, desde la identificación de un problema hasta la presentación final del informe o tesis.

A diferencia de otros textos, aquí encontrarás:

- Explicaciones sencillas, sin tecnicismos innecesarios.
- Ejemplos concretos aplicados a diversas ramas de la ingeniería.
- Plantillas, formatos y guías listas para usar.
- Procedimientos explicados paso a paso.
- Estrategias para convertir un problema técnico en un proyecto de investigación viable.
- Indicaciones claras para elaborar objetivos, hipótesis, variables, marcos teóricos y metodologías.

El propósito central de este libro es potenciar la capacidad investigativa del ingeniero contemporáneo, quien debe demostrar no solo dominio en la operación de

tecnologías, sino también la habilidad de analizarlas, cuestionarlas y transformarlas en soluciones innovadoras.

Así, este texto está dirigido a:

- Estudiantes de ingeniería de pregrado.
- Tesistas que buscan una guía sólida y fácil de aplicar.
- Docentes que desean un recurso claro para enseñar metodología.
- Profesionales que participan en proyectos de innovación, mejora continua o investigación aplicada.

La investigación científica no es un proceso complejo reservado para expertos. Por el contrario, es un camino que cualquier ingeniero puede recorrer con una metodología adecuada, ejemplos claros y herramientas prácticas. Este libro pretende ser ese acompañante cercano, útil y confiable.

Invito al lector a recorrer sus capítulos de manera ordenada, aplicando cada ejercicio y plantilla, reflexionando sobre su entorno y reconociendo que todo sistema, proceso, estructura o fenómeno que un ingeniero observa puede convertirse en una oportunidad de investigación.

Confío en que este libro será un apoyo significativo para tu formación y tus proyectos. Que sea también una motivación para desarrollar investigaciones rigurosas, innovadoras y comprometidas con el avance de la ingeniería y el bienestar de nuestra sociedad.

Los Autores

Prólogo

Investigar no es complicado. Lo complicado es comenzar.

Muchos estudiantes y profesionales de ingeniería sienten que la investigación científica es algo lejano, difícil o reservado solo para expertos. Sin embargo, la verdad es otra: investigar es simplemente aprender a mirar un problema con más atención y a buscar una solución con método.

Este libro ha sido escrito justamente para eso: para demostrar que cualquier ingeniero puede investigar si cuenta con una guía clara, práctica y directa. Aquí encontrarás explicaciones sencillas, ejemplos cotidianos, pasos concretos y herramientas listas para usar. Nada de teorías extensas sin aplicación; todo está pensado para ayudarte a avanzar desde cero hasta tu proyecto final.

La intención de este libro sea un compañero cercano, que te acompañe en cada fase del proceso y te muestre que la investigación puede ser no solo útil, sino también interesante, creativa y llena de oportunidades para mejorar el mundo desde la ingeniería.

Si alguna vez pensaste que investigar era difícil, este libro quiere demostrarte lo contrario.

Bienvenido.

Los Autores

Introducción

La investigación científica puede parecer un proceso complejo, lleno de términos técnicos y pasos difíciles. Pero cuando la miramos desde la ingeniería, descubrimos algo importante: **investigar es, en esencia, lo mismo que resolver un problema**, solo que de manera más ordenada, más precisa y más comprobable.

Cada vez que un ingeniero intenta mejorar un proceso, analizar una falla, optimizar un sistema, reducir costos o diseñar algo nuevo, ya está aplicando parte del pensamiento científico. La diferencia es que, en una investigación, ese pensamiento se vuelve **metódico, medible y comunicable**.

Por eso, este libro comienza con una idea simple:

☞ **Si bien la investigación requiere de un rigor metodológico, su naturaleza es compleja, ya que está intrínsecamente ligada a contextos históricos y paradigmas en constante evolución.**

En esta introducción entenderás:

- ¿qué significa investigar realmente?,
- ¿por qué la investigación es parte natural del trabajo ingenieril?,
- y ¿cómo cualquier problema cotidiano puede convertirse en un proyecto científico?

Nuestro objetivo es que no solo comprendas la investigación, sino que **te sientas capaz de hacerla**. Aquí no encontrarás explicaciones solo teóricas: encontrarás guías prácticas, ejemplos aplicados a la ingeniería y pasos que puedes seguir desde tu propia realidad.

Si eres estudiante, este libro te acompañará desde la elección del tema hasta tu informe final.

Si eres profesional, te ayudará a estructurar proyectos, analizar datos y proponer mejoras sustentadas.

Si eres docente, tendrás una herramienta ágil para enseñar metodología.

Comencemos, entonces, por lo más importante: **entender que investigar es simplemente aprender a mirar el mundo con más detalle y buscar soluciones basadas en evidencia.**

Así inicia tu camino como investigador ingenieril.

Parte I

**Fundamentos
de la investigación
para ingenieros**

Parte I

Fundamentos de la investigación para ingenieros

Capítulos incluidos:

- Capítulo 1: Introducción a la investigación científica
- Capítulo 2: La observación de la realidad

Capítulo 1

**Introducción
a la investigación
científica**

Introducción a la investigación científica

1.1. ¿Qué es investigar?

Investigar significa **buscar respuestas de manera sistemática, organizada y basada en evidencia**. Es un proceso mediante el cual se generan nuevos conocimientos o se resuelven problemas usando métodos válidos y verificables.

Figura 1

La investigación científica.



Hernández et al. (2014) definen investigar como “un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno” (p. 4). En ingeniería, esto implica no solo entender un sistema, sino **medirlo, modelarlo y mejorarlo**.

En términos simples:

☞ **Investigar es preguntar, recopilar datos y demostrar con evidencia cómo funciona un fenómeno o cómo puede optimizarse.**

1.2. Ciencia, conocimiento y método científico

Ciencia

Es el conjunto organizado y sistemático de conocimientos verificables obtenidos mediante la observación y el razonamiento. Su esencia radica en una metodología objetiva que permite generar hipótesis y leyes generales, asegurando que los hallazgos no sean aislados, sino parte de un sistema coherente y comprobable del mundo natural y tecnológico.

Conocimiento

El conocimiento científico se caracteriza por ser:

- Sistemático.
- Objetivo.
- Verificable.
- Acumulativo.
- Racional (Kerlinger y Lee, 2002).

Método científico

Es el procedimiento que guía la generación de nuevo conocimiento.

Etapas del método científico

1. Observación.
2. Planteamiento del problema.
3. Formulación de hipótesis.
4. Experimentación / Recolección de datos.
5. Análisis e interpretación.
6. Conclusiones.

En ingeniería, el método científico se integra con el **método ingenieril**, que incluye modelado matemático, simulaciones, pruebas piloto y prototipado.

1.3. Tipos y clasificación de la investigación científica

La investigación científica no es un proceso único; se diversifica según los objetivos, los recursos y la profundidad que el investigador pretenda alcanzar. Para comprender su alcance, es necesario categorizarla bajo cuatro criterios fundamentales:

a) Según su finalidad ¿Para qué se investiga?

Este criterio determina si la intención es expandir el saber teórico o resolver una necesidad técnica inmediata:

- Investigación básica (Pura): Su objetivo es aumentar el conocimiento teórico sin una aplicación práctica inmediata. Es la curiosidad por entender las leyes del universo.

Ejemplo: Estudiar el comportamiento de partículas subatómicas.

- Investigación aplicada (Tecnológica): Utiliza los conocimientos de la ciencia básica para resolver problemas específicos o desarrollar tecnología.

Ejemplo: El diseño de baterías de litio más eficientes basadas en principios electroquímicos conocidos.

b) Según el nivel de profundidad ¿Qué tanto buscamos?

Dependiendo del estado actual del conocimiento sobre el tema, la investigación adopta distintas dimensiones:

- Exploratoria: Un primer acercamiento a temas poco estudiados ("reconocimiento del terreno").
- Descriptiva: Se enfoca en detallar las características y componentes de un fenómeno (el "cómo es"), sin analizar causas.
- Explicativa: Es la más compleja, pues busca establecer relaciones de causa y efecto (el "por qué" de los hechos).

c) Según el tipo de datos ¿Cómo medimos la realidad?

Esta es la división clásica aplicada en entornos académicos para determinar la naturaleza de la información recolectada:

- Cuantitativa: Centrada en mediciones numéricas y análisis estadístico.
- Cualitativa: Enfocada en la comprensión de significados, experiencias y contextos.
- Mixta: Integra ambos enfoques para una visión holística.

d) Según la manipulación de variables ¿Qué tanto controlamos?

Define el grado de intervención del investigador sobre el objeto de estudio:

- Experimental: Se manipulan variables en condiciones controladas para observar reacciones.
- No Experimental: Se observa el fenómeno en su contexto natural, sin interferir en él.
- Cuasi-experimental: Existe manipulación de variables, pero sin un control total sobre la asignación de los grupos de estudio.

Nota epistemológica: Es fundamental comprender que no existe un tipo de investigación superior a otro. Mientras que un físico teórico puede alcanzar un alto reconocimiento mediante la investigación básica, un equipo de ingeniería puede transformar la sociedad a través de la investigación aplicada y experimental. La elección del tipo de investigación depende exclusivamente de la pregunta que se desee responder.

1.4. La investigación en ingeniería: características y retos

Las características y retos de la investigación ingenieril se desglosan a continuación:

Características

- Es práctica y orientada a problemas reales.
- Utiliza modelos matemáticos y análisis cuantitativo.
- Requiere mediciones experimentales confiables.
- Integra herramientas computacionales, simulaciones y prototipos.
- Busca optimizar, mejorar, innovar o automatizar sistemas.

Retos actuales

1. Datos de calidad:

Medir en campo puede ser difícil (ruido, agua, materiales, emisiones...).

2. Limitaciones tecnológicas:

No siempre se cuenta con equipos de alto nivel.

3. Contextos complejos:

En Latinoamérica existen problemas de accesibilidad, clima y recursos.

4. Interdisciplinariedad:

Combinar conocimientos ambientales, químicos, eléctricos o informáticos.

5. Normas técnicas exigentes:

ISO, ASTM, IEEE requieren rigurosidad.

Según Fortin (2013), la investigación en ingeniería es esencialmente “resolución rigurosa de problemas mediante ciencia, tecnología y análisis cuantitativo”.

1.5. El ingeniero como solucionador de problemas científicos

Para comprender la naturaleza investigativa de la ingeniería, es útil establecer una analogía entre su proceso de diseño y el método científico. Aunque la ciencia busca generar leyes universales y la ingeniería busca soluciones prácticas, ambas comparten una estructura metodológica rigurosa que permite validar el conocimiento, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Paralelismo entre las fases del proceso de ingeniería y las etapas del método científico.

Fases del Diseño en Ingeniería	Etapas del Método Científico
Identificación del problema o necesidad técnica	Planteamiento del problema de investigación
Diagnóstico y estado del arte	Revisión teórica y antecedentes
Diseño del sistema o prototipo	Formulación de hipótesis o modelo teórico
Simulación, construcción y pruebas	Experimentación y recolección de datos
Optimización y validación de resultados	Análisis y discusión de resultados
Informe técnico / Manual de operación	Publicación de resultados y comunicación científica

Nota. Elaboración propia (2026) basada en los estándares de investigación tecnológica.

Como se desprende de la comparación anterior, la labor del ingeniero trasciende la mera ejecución técnica. Al seguir un rigor metodológico que incluye el diagnóstico, la experimentación y la validación de prototipos, el profesional no solo consume saberes existentes, sino que genera nuevas soluciones y hallazgos técnicos. Por lo tanto, el ingeniero se consolida como un productor de conocimiento aplicado, ya que cada proceso de optimización documentado constituye un aporte al acervo tecnológico de su área.

Ejemplos claros:

- Ingeniería Ambiental y el modelado matemático.
- Ingeniería Química y la optimización de procesos.
- Ingeniería Civil y la simulación estructural.
- Ingeniería Mecánica y el análisis de transferencia de calor.

- Ingeniería de Sistemas y el diseño algorítmico.

1.6. Ejemplos de investigación ingenieril

Ingeniería Ambiental

- Evaluación del impacto del ruido urbano sobre la salud.
- Eficiencia de barreras verdes para la reducción de ruido (Barboza y Sánchez, 2021).
- Remoción de turbidez usando coagulantes naturales.

Ingeniería Química

- Modelado cinético de una reacción endotérmica.
- Diseño de un proceso de extracción por solventes.
- Optimización de la producción de biodiésel.

Ingeniería Civil

- Análisis de estabilidad de taludes usando métodos numéricos.
- Evaluación de la resistencia mecánica de concretos alternativos.

Ingeniería Industrial

- Simulación de tiempos de producción usando Arena® (Rojas, 2020).
- Balance de líneas para reducir cuellos de botella.

Ingeniería Eléctrica / Electrónica

- Desarrollo de un sistema IoT para monitorear energía.
- Estudio de armónicos en sistemas trifásicos.

Ingeniería de Sistemas / Informática

- Redes neuronales para predicción de demanda energética (Martínez et al., 2019).
- Algoritmos de clasificación para detectar fallas industriales.

Introducción a la investigación científica

■ Resumen del capítulo

En este capítulo introductorio hemos establecido los fundamentos de la investigación científica aplicada a la ingeniería. Se definió que investigar es buscar respuestas de manera sistemática, organizada y basada en evidencia, utilizando el método científico como guía estructurada. Se diferenciaron tres tipos principales de investigación: básica (conocimiento teórico), aplicada (solución de problemas concretos) y tecnológica (desarrollo de productos y prototipos). Se destacó que la investigación en ingeniería se caracteriza por ser práctica, cuantitativa y orientada a optimizar sistemas reales. Finalmente, se reconoció que el ingeniero es, por naturaleza, un solucionador de problemas científicos, y que el proceso ingenieril es equivalente al método científico aplicado. A través de los ejemplos presentados en diversas ramas de la ingeniería, se demuestra que cualquier problema técnico puede transformarse en un proyecto de investigación riguroso. Este puente se construye cuando el ingeniero deja de buscar una solución empírica inmediata y comienza a sistematizar el problema: define variables, revisa el estado del arte para no 'reinventar la rueda', plantea una hipótesis de solución y valida sus resultados mediante pruebas controladas. Es precisamente este tránsito del 'ensayo y error' hacia la aplicación del método científico lo que permite que la resolución de un problema técnico se convierta en un avance tecnológico y social verificable.

🔑 Conceptos clave

- **Investigar:** Buscar respuestas de manera sistemática, organizada y basada en evidencia mediante procesos verificables.
- **Ciencia:** Conjunto organizado de conocimientos verificables que explican el funcionamiento del mundo natural, físico, químico, biológico o tecnológico.
- **Método científico:** Procedimiento que guía la generación de nuevo conocimiento a través de: observación, planteamiento del problema,

formulación de hipótesis, experimentación, análisis e interpretación, y conclusiones.

- **Conocimiento científico:** Información que se caracteriza por ser sistemática, objetiva, verificable, acumulativa y racional.
- **Investigación básica:** Tipo de investigación que busca ampliar el conocimiento teórico sin un fin práctico inmediato.
- **Investigación aplicada:** Uso de conocimientos científicos para resolver problemas concretos de la realidad.
- **Investigación tecnológica:** Proceso que genera productos, procesos, prototipos o sistemas funcionales aplicables.
- **Investigación ingenieril:** Investigación práctica orientada a problemas reales que utiliza modelos matemáticos, análisis cuantitativo y busca optimizar, mejorar o innovar sistemas.
- **Método ingenieril:** Integración del método científico con modelado matemático, simulaciones, pruebas piloto y prototipado.
- **Ingeniero-investigador:** Profesional que aplica ciencia para resolver problemas de manera rigurosa, generando conocimiento aplicable y no solo siendo usuario de tecnología.

💡 Ideas principales

- 1) La investigación científica no es un proceso complejo reservado para expertos: es un camino que cualquier ingeniero puede recorrer con una metodología adecuada.
- 2) Investigar en ingeniería significa preguntar, recopilar datos y demostrar con evidencia cómo funciona un fenómeno o cómo puede optimizarse.
- 3) El método científico proporciona seis etapas claras: observación, planteamiento del problema, formulación de hipótesis, experimentación, análisis e interpretación, y conclusiones.
- 4) En ingeniería predominan dos tipos de investigación: aplicada (resolver problemas concretos) y tecnológica (desarrollar productos o prototipos funcionales).
- 5) La investigación ingenieril se caracteriza por ser práctica, utilizar modelos matemáticos, requerir mediciones experimentales confiables, integrar herramientas computacionales y buscar optimizar sistemas.
- 6) Los principales retos de la investigación en ingeniería incluyen: obtener datos de calidad, limitaciones tecnológicas, contextos complejos, interdisciplinariedad y cumplimiento de normas técnicas exigentes (ISO, ASTM, IEEE).
- 7) El proceso que realiza un ingeniero (identificación del problema, diagnóstico, diseño, simulación, optimización e informe) es equivalente al método científico aplicado.
- 8) Un ingeniero ya es, de por sí, un investigador: el ingeniero moderno debe ser capaz no solo de operar tecnologías, sino de crear soluciones basadas en evidencia y sustentar sus resultados científicamente.
- 9) Cada rama de la ingeniería (ambiental, química, civil, industrial, eléctrica, mecánica, sistemas) tiene problemas específicos que pueden transformarse en investigaciones rigurosas con impacto real.

↪ **Para recordar**

- ✓ **Investigar** = Preguntar + Recopilar datos + Demostrar con evidencia.
- ✓ **Método científico:** Observar → Plantear problema → Hipótesis → Experimentar → Analizar → Concluir.
- ✓ **Tipos de investigación:** Básica (teoría) | Aplicada (solución) | Tecnológica (prototipo).
- ✓ **Características de la investigación ingenieril:** Práctica, Cuantitativa, Experimental, Computacional, Optimizadora.
- ✓ **Proceso ingenieril** = Método científico aplicado.
- ✓ **El conocimiento científico es:** Sistemático, Objetivo, Verificable, Acumulativo, Racional.
- ✓ **Un buen ingeniero:** Es también un buen investigador: no solo opera tecnología, la crea.
- ✓ **En Latinoamérica, los retos incluyen:** Calidad de datos, recursos limitados y cumplimiento de normas técnicas.
- ✓ **Todo problema técnico puede convertirse en:** Investigación científica.

🔧 **Aplica lo aprendido**

Responde las siguientes preguntas de reflexión basándote en lo aprendido en este capítulo. Estas actividades te ayudarán a consolidar los conceptos y a conectarlos con tu propia experiencia como ingeniero.

Ejercicio 1: Identifica un problema real en tu entorno (universidad, empresa, comunidad o práctica profesional) que podría resolverse mediante investigación científica. Descríbelo en máximo 5 líneas, mencionando: ¿Cuál es el problema? ¿Dónde ocurre? ¿Por qué es importante resolverlo?

Ejercicio 2: Clasifica el problema que identificaste en la pregunta anterior: ¿Requiere investigación básica, aplicada o tecnológica? Justifica tu respuesta

explicando qué tipo de resultado esperarías obtener (conocimiento teórico, solución práctica o prototipo funcional).

Ejercicio 3: Reflexiona sobre tu formación actual: ¿Qué habilidades investigativas consideras que ya posees como ingeniero? ¿Qué habilidades adicionales necesitas desarrollar para convertirte en un ingeniero-investigador competente? Menciona al menos 3 habilidades a desarrollar.

Ejercicio 4: Compara el método científico con el proceso que normalmente sigues para resolver problemas técnicos en tu carrera. ¿En qué se parecen? ¿En qué se diferencian? ¿Podrías mejorar tu enfoque actual aplicando más rigurosamente el método científico?

Ejercicio 5: Revisa los ejemplos de investigaciones ingenieriles presentados en la sección 1.6 del capítulo. Escoge uno que te parezca interesante y explica: ¿Por qué te llamó la atención? ¿Qué metodología crees que se utilizó? ¿Qué impacto podría tener en la sociedad?

→ Siguiente paso

Ahora que comprendes los fundamentos de la investigación científica y reconoces que el ingeniero es naturalmente un investigador, el siguiente paso es desarrollar una habilidad crítica: la observación estructurada de la realidad.

En el Capítulo 2 - "La Observación de la Realidad", aprenderás técnicas específicas para identificar problemas reales de investigación en tu campo de trabajo. Descubrirás cómo clasificar problemas ingenieriles según su naturaleza (funcionamiento, eficiencia, calidad, seguridad, ambientales, modelado), y aprenderás a transformar situaciones cotidianas en preguntas de investigación bien formuladas.

También conocerás las principales fuentes de ideas de investigación en diferentes ramas de la ingeniería (procesos industriales, materiales, estructuras, sistemas eléctricos, informáticos y ambientales), y dominarás técnicas simples pero efectivas para recolectar información preliminar mediante observación directa, listas de chequeo, entrevistas, inspecciones técnicas y revisión documental.

El Capítulo 2 te proporcionará las herramientas prácticas para reconocer oportunidades de investigación donde otros solo ven problemas cotidianos. Prepárate para afinar tu mirada crítica y descubrir que tu entorno está lleno de fenómenos fascinantes que merecen ser investigados científicamente.



¡Felicitaciones por completar el Capítulo 1!

Has dado el primer paso en tu camino como ingeniero-investigador.

Capítulo 2

**La observación
de la realidad**

La observación de la realidad

2.1. Cómo identificar problemas reales

La observación es el punto de partida de toda investigación científica e ingenieril. Según Hernández et al. (2014), observar implica “examinar atentamente fenómenos tal como ocurren en su contexto natural” (p. 152).

Figura 2

Esquema de la observación.



En ingeniería, identificar un problema real significa detectar **fallas, ineficiencias, riesgos, brechas, oportunidades de mejora o fenómenos sin explicación técnica clara.**

Cómo identificar un problema real en ingeniería:

1. Observar el entorno: Campo, planta, laboratorio, comunidad, taller, empresa.
2. Detectar anomalías: Valores fuera de rango, fallas, sobrecostos, pérdidas, ruidos, vibraciones, ineficiencias.
3. Comparar con estándares: ISO, ASTM, normas nacionales, manuales técnicos.
4. Contrastar con la teoría: Si la realidad no coincide con el modelo, hay un problema por investigar.
5. Escuchar a los usuarios u operadores: Muchas fallas reales son evidentes solo para quienes operan el sistema.

Ejemplo típico: un sistema de ventilación que debería renovar 8 renovaciones de aire/hora, pero solo logra 5.4. Esa diferencia **representa, en esencia** un problema.

2.2. Fuentes de ideas de investigación en el entorno

Bernal (2020) sostiene que las ideas surgen cuando el investigador observa críticamente su entorno. Para los ingenieros, las principales fuentes son:

a) Procesos industriales

- Ineficiencias energéticas.
- Sobrecalentamientos.
- Pérdidas de materia prima.
- Mala calidad del producto.

b) Materiales y estructuras

- Fatiga, deformaciones, agrietamientos.
- Falta de resistencia.
- Corrosión.
- Fallas por impacto o cargas cíclicas.

c) Sistemas eléctricos y electrónicos

- Armónicos.
- Pérdida de potencia.

- Interferencias.
- Sobretensiones.

d) Sistemas informáticos

- Cuellos de botella.
- Saturación del servidor.
- Algoritmos poco eficientes.
- Baja precisión de modelos predictivos.

e) Medio ambiente

- Ruido ambiental.
- Contaminación del agua.
- Gestión de residuos.
- Calidad del aire.

f) Normas técnicas

Muchos problemas surgen por incumplimiento o falta de alineación con estándares ISO, ASTM, NTP o IEEE.

g) Experiencias personales del investigador

El ingeniero, por su trabajo de campo, suele notar problemas que otros no ven.

Conclusión: No hay investigación sin observación previa. Todo empieza con la curiosidad técnica.

2.3. Clasificación de problemas ingenieriles

Los problemas que un ingeniero puede investigar se clasifican de varias formas (Kerlinger y Lee, 2002):

A. Según su naturaleza

1. Problemas de funcionamiento:
 - Equipos que no operan según especificaciones.

2. Problemas de eficiencia:
 - Consumo excesivo de energía o recursos.
3. Problemas de calidad:
 - Defectos en productos o variabilidad en procesos.
4. Problemas de seguridad:
 - Riesgos, vibraciones, fallas estructurales.
5. Problemas ambientales:
 - Contaminación, ruido, emisiones, residuos.
6. Problemas de modelado o predicción:
 - Falta de modelos matemáticos precisos.

B. Según su origen

1. Problemas físicos (mecánica, calor, vibración).
2. Problemas químicos (reacciones, corrosión, contaminación).
3. Problemas biológicos (biofiltros, bioprocesos).
4. Problemas informáticos (algoritmos, redes neuronales).
5. Problemas energéticos (eficiencia, redes eléctricas).

C. Según el nivel de intervención

1. Diagnóstico.
2. Optimización.
3. Diseño.
4. Simulación.
5. Prototipado.

2.4. Ejemplos: problemas en procesos, materiales, estructuras, sistemas, energía, ambiente, etc.

Aquí van ejemplos claros, reales y prácticos para cada tipo de ingeniería:

Ingeniería Ambiental

- Los niveles de ruido en avenidas superan los límites de la OMS.
- La eficiencia de un biodigestor rural es menor al 40%.
- El agua de una comunidad supera los límites de turbidez de la OMS.

Ingeniería Química

- El tiempo de residencia en un reactor es insuficiente.
- La conversión de una reacción endotérmica no supera el 70%.
- Un proceso de extracción tiene pérdidas significativas de solvente.

Ingeniería Civil

- Agrietamientos en pavimentos por cargas repetitivas.
- Baja resistencia del concreto a los 28 días.
- Falla de drenaje superficial en carreteras.

Ingeniería Industrial

- Procesos con tiempos muertos elevados.
- Sobrestock en almacenes por mala predicción.
- Líneas de producción con balance ineficiente.

Ingeniería Eléctrica / Electrónica

- Armónicos en redes industriales.
- Sistemas fotovoltaicos con baja eficiencia.
- Señales con ruido por mala puesta a tierra.

Ingeniería Mecánica

- Elevada vibración en turbomaquinarias.

- Transferencia de calor deficiente en intercambiadores.
- Pérdidas de carga excesivas en tuberías.

Ingeniería de Sistemas

- Algoritmos con alta latencia.
- Modelos predictivos con poca precisión.
- Vulnerabilidad en sistemas web.

Los casos presentados evidencian que los desafíos técnicos poseen la naturaleza necesaria para ser abordados como investigaciones científicas o tecnológicas. Al analizar estas muestras, se observa que la transición hacia un proyecto formal depende de la aplicación sistemática de un método de validación.

2.5. Técnicas simples para recolectar información preliminar

Antes de plantear el problema, es necesario obtener información básica. Algunas técnicas útiles son:

1. Observación directa

Mirar el proceso, medir, fotografiar, grabar.

Ejemplo: registrar los niveles de ruido de una avenida.

2. Listas de chequeo (Checklists)

Basadas en normas ISO, manuales técnicos o estándares de operación.

3. Entrevistas rápidas

Hablar con operadores, técnicos, vecinos, supervisores o usuarios.

4. Revisión documental

Manuales, fichas técnicas, indicadores históricos, reportes previos.

5. Inspecciones técnicas

Visitas a campo con instrumentos básicos:

- Luxómetro.
- Sonómetro.
- Multímetro.
- Termómetro.
- Cronómetro.
- Balanza.

6. Datos secundarios

Revisar bases de datos de entidades públicas, como:

- SENAMHI: (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).
- ANA: (Autoridad Nacional del Agua).
- DIGESA: (Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria).
- OEFA: (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental).
- INEI: (Instituto Nacional de Estadística e Informática).
- Produce: (Ministerio de la Producción).

7. Pruebas exploratorias

Pequeños experimentos o mediciones preliminares para evaluar la magnitud del problema.

Ejemplo: medir pH en distintos puntos para ver variabilidad.

Como indica Fortin (2013), esta etapa preliminar permite “comprender el contexto y dimensionar adecuadamente el problema” (p. 41).

La observación de la realidad

■ Resumen del capítulo

En este capítulo hemos desarrollado la habilidad fundamental para iniciar cualquier investigación: la observación crítica y estructurada de la realidad. Se estableció que observar en ingeniería significa examinar atentamente fenómenos en su contexto natural para detectar fallas, ineficiencias, riesgos, brechas o anomalías que requieren explicación técnica. Se identificaron siete fuentes principales de ideas de investigación: procesos industriales, materiales y estructuras, sistemas eléctricos y electrónicos, sistemas informáticos, medio ambiente, normas técnicas y experiencias personales del ingeniero. Se presentó una clasificación completa de problemas ingenieriles según su naturaleza (funcionamiento, eficiencia, calidad, seguridad, ambientales, modelado), según su origen (físicos, químicos, biológicos, informáticos, energéticos) y según el nivel de intervención (diagnóstico, optimización, diseño, simulación, prototipado). Finalmente, se describieron siete técnicas prácticas para recolectar información preliminar: observación directa, listas de chequeo, entrevistas rápidas, revisión documental, inspecciones técnicas, análisis de datos secundarios y pruebas exploratorias. Todo el capítulo refuerza la idea de que no hay investigación sin observación previa y que la curiosidad técnica es el motor del descubrimiento científico.

🔑 Conceptos clave

- **Observación científica:** Examinar atentamente fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, de manera sistemática y con propósito investigativo.
- **Problema real de ingeniería:** Situación observable que implica fallas, ineficiencias, riesgos, brechas, oportunidades de mejora o fenómenos sin explicación técnica clara.

- **Detección de anomalías:** Identificación de valores fuera de rango, fallas, sobrecostos, pérdidas, ruidos, vibraciones o cualquier desviación del comportamiento esperado en un sistema.
- **Comparación con estándares:** Contraste del desempeño real de un sistema con normas técnicas establecidas (ISO, ASTM, NTP, IEEE) o especificaciones de diseño.
- **Fuentes de ideas de investigación:** Contextos u áreas donde surgen problemas investigables: procesos industriales, materiales, estructuras, sistemas eléctricos, informáticos, ambientales, normas técnicas y experiencia personal.
- **Problemas de funcionamiento:** Situaciones donde equipos o sistemas no operan según sus especificaciones técnicas originales.
- **Problemas de eficiencia:** Condiciones de consumo excesivo de energía, recursos, tiempo o materiales en procesos o sistemas.
- **Problemas de calidad:** Defectos en productos, variabilidad en procesos o incumplimiento de especificaciones de calidad establecidas.
- **Problemas de seguridad:** Riesgos, vibraciones peligrosas, fallas estructurales o condiciones que comprometen la integridad de personas o sistemas.
- **Problemas ambientales:** Situaciones de contaminación (aire, agua, suelo), ruido excesivo, emisiones, residuos no controlados o impactos ecológicos negativos.
- **Problemas de modelado:** Ausencia o inexactitud de modelos matemáticos que predigan el comportamiento de sistemas o fenómenos.
- **Observación directa:** Técnica de recolección que implica mirar, medir, fotografiar o registrar directamente el proceso o fenómeno de interés.
- **Listas de chequeo (Checklists):** Instrumentos estructurados basados en normas o estándares para verificar sistemáticamente el cumplimiento de requisitos técnicos.
- **Datos secundarios:** Información ya recopilada por entidades públicas o privadas (SENAMHI, ANA, DIGESA, OEFA, INEI) que puede ser útil para dimensionar problemas.
- **Pruebas exploratorias:** Experimentos o mediciones preliminares de pequeña escala para evaluar la magnitud y naturaleza de un problema antes del estudio formal.

💡 Ideas principales

1. La observación es el punto de partida de toda investigación científica e ingenieril. Sin observación crítica del entorno, no hay identificación de problemas investigables.
2. Identificar un problema real en ingeniería requiere cinco pasos clave: observar el entorno, detectar anomalías, comparar con estándares, contrastar con la teoría y escuchar a los usuarios u operadores del sistema.
3. Las ideas de investigación surgen de siete fuentes principales: (a) procesos industriales con ineficiencias, (b) materiales y estructuras con fallas, (c) sistemas eléctricos con pérdidas, (d) sistemas informáticos con cuellos de botella, (e)

problemas medioambientales, (f) incumplimiento de normas técnicas, y (g) experiencias personales del ingeniero.

4. Los problemas ingenieriles se clasifican según tres criterios fundamentales: naturaleza (funcionamiento, eficiencia, calidad, seguridad, ambientales, modelado), origen (físicos, químicos, biológicos, informáticos, energéticos), y nivel de intervención (diagnóstico, optimización, diseño, simulación, prototipado).
5. Cada rama de la ingeniería tiene problemas característicos: ambiental (ruido, biodigestores, turbidez), química (reactores, conversión, extracción), civil (agrietamientos, resistencia, drenaje), industrial (tiempos muertos, sobrestock, balance); eléctrica (armónicos, eficiencia fotovoltaica), mecánica (vibraciones, transferencia de calor), y sistemas (latencia, precisión de modelos).
6. Antes de plantear formalmente un problema de investigación, es necesario recolectar información preliminar mediante técnicas simples pero efectivas.
7. La observación directa permite registrar visualmente el fenómeno mediante medición, fotografía o grabación del proceso en tiempo real.
8. Las listas de chequeo estructuradas basadas en normas ISO, ASTM o manuales técnicos permiten verificar sistemáticamente el cumplimiento de especificaciones.
9. Las entrevistas rápidas con operadores, técnicos, supervisores o usuarios revelan problemas que solo son evidentes para quienes trabajan directamente con el sistema.
10. La revisión documental de manuales, fichas técnicas, indicadores históricos y reportes previos proporciona contexto y antecedentes del problema.
11. Las inspecciones técnicas con instrumentos básicos (luxómetro, sonómetro, multímetro, termómetro, cronómetro, balanza) generan datos cuantitativos preliminares.
12. Los datos secundarios de entidades públicas (SENAMHI, ANA, DIGESA, OEFA, INEI, Produce) ofrecen información valiosa para dimensionar problemas a nivel regional o nacional.
13. Las pruebas exploratorias (pequeños experimentos o mediciones preliminares) ayudan a evaluar la magnitud del problema antes de diseñar el estudio completo.
14. La curiosidad técnica del ingeniero, desarrollada a través de su trabajo de campo, es fundamental para detectar problemas que otros profesionales no perciben.
15. No hay investigación sin observación previa: todo proyecto científico en ingeniería comienza con la capacidad de mirar críticamente el entorno y reconocer oportunidades de mejora.

↪ Para recordar

- ✓ **Observación** = Punto de partida de toda investigación ingenieril.
- ✓ **Identificar problema real:** Observar → Detectar anomalías → Comparar con estándares → Contrastar con teoría → Escuchar operadores.
- ✓ **7 fuentes de ideas:** Procesos industriales | Materiales | Sistemas eléctricos | Sistemas informáticos | Ambiente | Normas técnicas | Experiencia personal.

- ✓ **Clasificación por Naturaleza:** Funcionamiento, Eficiencia, Calidad, Seguridad, Ambientales, Modelado.
- ✓ **Clasificación por origen:** Físicos, Químicos, Biológicos, Informáticos, Energéticos.
- ✓ **Clasificación por Intervención:** Diagnóstico, Optimización, Diseño, Simulación, Prototipado.
- ✓ **7 Técnicas de recolección preliminar:** Observación directa | Checklists | Entrevistas | Revisión documental | Inspecciones técnicas | Datos secundarios | Pruebas exploratorias.
- ✓ **Instrumentos básicos:** Luxómetro, Sonómetro, Multímetro, Termómetro, Cronómetro, Balanza.
- ✓ **Entidades peruanas con datos:** SENAMHI, ANA, DIGESA, OEFA, INEI, Produce.
- ✓ **Ejemplo práctico:** Sistema de ventilación especificado 8 renovaciones/hora pero solo logra 5.4 → Eso es un Problema.
- ✓ "No hay investigación sin observación previa. Todo empieza con la curiosidad técnica".
- ✓ Los operadores conocen fallas que otros no ven: ¡Escúchalos!

🔑 **Aplica lo aprendido**

Realiza las siguientes actividades prácticas para desarrollar tu capacidad de observación crítica y aplicar las técnicas aprendidas en este capítulo a situaciones reales de tu entorno ingenieril.

Ejercicio 1: Ejercicio de observación directa: Durante las próximas 48 horas, observa críticamente tu entorno (universidad, trabajo, comunidad). Identifica y describe 3 problemas reales que podrías investigar. Para cada problema indica: (a) ¿Qué anomalía observaste? (b) ¿Dónde ocurre? (c) ¿Cómo lo detectaste? (d) ¿Qué norma o estándar se está incumpliendo (si aplica)?

Ejercicio 2: Clasificación de problemas: Toma los 3 problemas que identificaste en el ejercicio anterior y clasificalos según: (a) Naturaleza (funcionamiento, eficiencia, calidad, seguridad, ambiental o modelado), (b) Origen (físico, químico, biológico, informático o energético), (c) Nivel de intervención (diagnóstico, optimización, diseño, simulación o prototipado). Justifica cada clasificación.

Ejercicio 3: Fuentes de ideas: Revisa la lista de 7 fuentes de ideas de investigación presentadas en el capítulo (procesos industriales, materiales, sistemas eléctricos, sistemas informáticos, ambiente, normas técnicas, experiencia personal). ¿En cuál de estas fuentes encontraste los problemas que identificaste? ¿Qué otras fuentes podrías explorar en tu campo específico de ingeniería?

Ejercicio 4: Técnicas de recolección preliminar: Selecciona uno de los problemas que identificaste y diseña un plan preliminar de recolección de información. Especifica: (a) ¿Qué técnicas de las 7 presentadas utilizarías? (b) ¿Qué instrumentos necesitarías? (c) ¿A quiénes entrevistarías? (d) ¿Qué documentos o datos secundarios consultarías? (e) ¿Qué prueba exploratoria podrías realizar?

Ejercicio 5: Análisis de ejemplos: Revisa la sección 2.4 que presenta ejemplos de problemas por rama de ingeniería. Escoge 3 ejemplos de diferentes ramas y analiza: (a) ¿Por qué cada uno es un problema investigable? (b) ¿Qué datos necesitarías recolectar? (c) ¿Qué tipo de investigación sería (básica, aplicada o tecnológica)? (d) ¿Qué impacto podría tener resolverlo?

Ejercicio 6: Reflexión personal: Basándote en tu experiencia en prácticas, proyectos o trabajo de campo, ¿qué problema real has observado que te gustaría investigar formalmente? Describe el problema siguiendo los 5 pasos de identificación: (1) contexto observado, (2) anomalías detectadas, (3) estándares incumplidos, (4) contraste con teoría, (5) opinión de operadores/usuarios.

→ **Siguiente paso**

Ahora que has desarrollado tu capacidad de observación crítica y sabes identificar problemas reales en tu entorno ingenieril, el siguiente paso es aprender a transformar esas observaciones en un planteamiento formal de investigación.

En el Capítulo 3 - "Planteamiento del Problema", aprenderás a convertir un problema observado en una declaración de investigación clara, precisa y científicamente estructurada. Este capítulo te enseñará paso a paso cómo redactar el problema central de tu investigación, una habilidad fundamental porque, como se dice en investigación: "un problema bien planteado es un problema medio resuelto".

Conocerás la estructura exacta que debe tener el planteamiento del problema, incluyendo la descripción de la situación actual, la identificación de causas y consecuencias, y la formulación precisa del problema mediante preguntas de investigación. También aprenderás a utilizar herramientas prácticas como el árbol de problemas, una técnica visual que te ayudará a analizar las relaciones causa-efecto de manera sistemática.

Además, el capítulo te enseñará a delimitar tu investigación correctamente, especificando el espacio geográfico, el tiempo, la población o sistema de estudio, y las variables que analizarás. Esta delimitación es crucial para hacer tu proyecto viable y manejable con los recursos disponibles.

Finalmente, conocerás los errores más comunes que cometen los tesisistas al plantear problemas (problemas demasiado amplios, vagos, sin evidencia o no investigables) y cómo evitarlos mediante ejemplos prácticos resueltos paso a paso en diferentes ramas de la ingeniería.

Prepárate para dar el salto de la observación casual a la formulación científica rigurosa. El Capítulo 3 es el puente entre "ver un problema" y "convertirlo en un proyecto de investigación viable".



***¡Excelente trabajo completando el Capítulo 2!
Has afinado tu mirada crítica y ahora eres capaz de detectar oportunidades de
investigación
donde otros solo ven problemas cotidianos.***

Parte II

Formulación y planeamiento de una investigación

Capítulos incluidos:

- Capítulo 3: El planteamiento del problema
- Capítulo 4: Los objetivos de investigación
- Capítulo 5: La justificación
- Capítulo 6: El marco teórico
- Capítulo 7: La hipótesis, variables y matriz de consistencia

Capítulo 3

Planteamiento del problema

Planteamiento del problema

El planteamiento del problema es el corazón de toda investigación. Sin un problema bien definido, ningún método funciona, ningún diseño avanza y ningún resultado es útil. En ingeniería, donde las investigaciones buscan resolver fallas, optimizar procesos o mejorar sistemas, **formular bien el problema es el 50% del éxito del proyecto.**

Este capítulo te enseña paso a paso cómo identificar, redactar y delimitar el problema de investigación con herramientas simples y aplicadas.

Figura 3

Esquema de formulación de problema de investigación.



3.1. ¿Qué es un problema de investigación?

Un problema de investigación es una **situación real, observable y verificable** que requiere ser comprendida, explicada o solucionada mediante un proceso científico (Hernández y Mendoza, 2018).

En ingeniería, un problema suele estar ligado a:

- Deficiencias en un proceso.
- Ineficiencias energéticas.
- Impacto ambiental no controlado.
- Fallas técnicas recurrentes.
- Decisiones sin evidencia.
- Incertidumbre en el comportamiento de un sistema.

Para que sea un verdadero problema de investigación debe cumplir tres condiciones (Tamayo, 2019):

1. Ser real: Ocurre en el campo, empresa, laboratorio o comunidad.
2. Ser investigable: Requiere recolección de datos, no solo opinión.
3. Ser acotado: Se puede trabajar en el tiempo y recursos disponibles.

☞ **En síntesis:**

Un problema de investigación no es la ausencia de datos, sino la necesidad de obtenerlos para comprender o mejorar un sistema.

3.2. Cómo redactar un problema central

La redacción debe ser:

- Clara (sin tecnicismos innecesarios).
- Directa (menciona la situación y la consecuencia).
- Objetiva (basada en evidencia, no en percepciones).

Estructura recomendada (3 oraciones):

1. Situación actual del sistema.
2. Consecuencias o impactos.
3. Vacío de información que justifica la investigación.

Ejemplo en Ingeniería:

En la planta de tratamiento de aguas de la empresa X, se han registrado concentraciones variables de turbidez en el efluente final durante los últimos 6 meses. Esta variabilidad genera incumplimiento de estándares ambientales y aumenta los costos operativos. Sin embargo, no se conoce con precisión qué factores del proceso influyen en la fluctuación de la turbidez.

3.3. Árbol de problemas para ingenieros (plantilla)

El árbol de problemas permite visualizar causas y efectos. Es una herramienta clásica en investigación aplicada (Baca Urbina, 2010).

Plantilla lista para usar**Problema central:**

Describe la falla, ineficiencia o situación crítica.

Causas directas:

- Causa 1.
- Causa 2.
- Causa 3.

Causas indirectas:

- Factores técnicos.
- Factores operativos.
- Factores ambientales
- Factores humanos.

Efectos directos:

- Consecuencia 1.
- Consecuencia 2.

Efectos indirectos:

- Costos adicionales.
- Riesgos futuros.
- Impactos ambientales.
- Impactos sociales.

Ejemplo aplicado (Ingeniería Ambiental)**Problema central:**

Altos niveles de ruido vehicular en la Av. La Marina.

Causas directas:

- Tráfico elevado.
- Falta de barreras acústicas.

Causas indirectas:

- Aumento del parque automotor.
- Ausencia de fiscalización urbana.

Efectos directos:

- Incomodidad y estrés en los residentes.
- Imposibilidad de cumplir normas de calidad ambiental.

Efectos indirectos:

- Riesgos de hipertensión.
- Disminución de la calidad de vida.

3.4. Preguntas científicas

La pregunta científica **guía todo el estudio** debe ser precisa y dar respuesta con datos (Creswell y Creswell, 2018).

En nuestra práctica profesional y docente, hemos observado que el mayor obstáculo para un investigador novel no es la falta de ideas, sino la dificultad para delimitar el alcance de su estudio. Para resolver esto, desarrollamos una estructura lógica que funciona como una "ecuación de coherencia". Esta fórmula no surgió de la teoría pura, sino de la necesidad de "limpiar" preguntas ambiguas y transformarlas en rutas de trabajo ejecutables.

$$\text{Pregunta} = \text{Interrogante} + \text{V. I.} + \text{Vínculo} + \text{V. D.} + \text{Contexto} + \text{Tiempo.}$$

Al aplicar esta estructura, obligamos al pensamiento a abandonar las generalidades y concentrarse en la relación causal entre variables.

Fórmula detallada:

¿Cómo / De qué manera / En qué medida + Variable Independiente (causa) + afecta / influye / se relaciona con + Variable Dependiente (efecto) + en [Población/Lugar] + durante [Periodo de tiempo]?

Diseñamos esta fórmula basándonos en la premisa de que una pregunta bien formulada es el 50% de la solución. En nuestros años de asesoría de proyectos, notamos que los errores en la experimentación nacían casi siempre de una pregunta 'gaseosa'. Al estructurarla como una ecuación, el investigador puede verificar de inmediato si tiene todos los elementos: si falta la población, la investigación no tiene límites; si falta el vínculo, no sabe qué va a medir. La experiencia dicta que, al someter cualquier idea a este filtro riguroso, el estudiante gana seguridad, pues la misma pregunta le indica qué datos debe recolectar y bajo qué condiciones.

Ejemplo:

¿De qué manera el tráfico vehicular influye en los niveles de ruido ambiental en la Avenida La Marina durante el año 2024?

Otros ejemplos según área:

- **Ingeniería Química:**
¿Cómo afecta el pH del afluente a la eficiencia del proceso de coagulación–floculación?
- **Ingeniería Ambiental:**
¿Cuál es la relación entre la densidad vehicular y el nivel de PM25 en zonas urbanas?
- **Ingeniería Industrial:**
¿Qué factores influyen en las demoras del proceso de envasado en la planta X?

3.5. Delimitación: espacio, tiempo, población y variables del sistema

Delimitar es acotar el estudio para que sea manejable, tal como recomiendan Hernández y Mendoza (2018).

Dimensiones de la delimitación

1. Delimitación espacial:

Lugar exacto donde ocurre el problema.

2. Delimitación temporal:

Periodo de estudio.

3. Población o sistema:

En el rigor de la estadística aplicada, la población o sistema no se limita a una simple enumeración de unidades, máquinas o individuos, sino que se define como el conjunto completo y delimitado de elementos que comparten características

comunes medibles en un espacio y tiempo determinados. Para el investigador, es crucial distinguir si se enfrenta a una población finita (con un número conocido de componentes, como los activos de una planta) o a una población infinita (donde los eventos o datos son incalculables, como el flujo de una red), ya que esta conformación estadística determinará la validez de las inferencias. Así, la correcta delimitación de la unidad de análisis permite que la muestra extraída sea verdaderamente representativa, transformando la observación de un grupo de datos en un conocimiento técnico aplicable y verificable.

4. Variables:

- **Independiente:** Factor que se manipula o evalúa.
- **Dependiente:** Efecto, rendimiento o respuesta técnica.

Ejemplo aplicado (Ingeniería):

- **Espacio:** Av. La Marina, distrito de Punchana.
- **Tiempo:** enero–junio 2024.
- **Población/sistema:** Flujo vehicular y niveles de ruido.
- **Variables:**
 - **Independiente:** Cantidad de vehículos/hora.
 - **Dependiente:** Nivel de presión sonora (dB).

3.6. Errores comunes al plantear un problema

1. Formular problemas muy amplios.
Ej.: “Los residuos sólidos en la ciudad”.
2. Confundir problema con objetivo.
El problema describe una situación; el objetivo explica lo que harás.
3. Plantear problemas sin datos preliminares.
Debe haber indicios, reportes o evidencias.
4. Describir causas sin demostrar que existen.
Un buen problema menciona evidencias.

5. Elegir problemas que no se pueden medir.
6. Redactar problemas desde la percepción, no desde la evidencia.
7. Crear problemas que no coinciden con las variables.

3.7. Ejemplos prácticos

Ejemplo 1 – Ingeniería Ambiental.

Problema central:

En el distrito de Punchana se registran niveles de ruido superiores a los Límites Máximos Permisibles en zonas residenciales.

Pregunta científica:

¿En qué medida el tráfico vehicular aumenta los niveles de ruido ambiental en Punchana durante el 2024?

Delimitación:

- Espacio: Punchana.
- Tiempo: 2024.
- Sistema: flujo vehicular – ruido.
- Variables: tráfico (independiente), dB (dependiente).

Ejemplo 2 – Ingeniería Química.

Problema central:

La remoción de DBO en la planta piloto presenta variabilidad en su eficiencia.

Pregunta científica:

¿Qué factores del proceso influyen en la variación de la eficiencia de remoción de DBO en la planta piloto durante el segundo semestre del 2024?

Ejemplo 3 – Ingeniería Industrial

Problema central:

Las líneas de producción presentan retrasos en el área de empaque.

Pregunta científica:

¿Cuáles son los principales factores que afectan el tiempo de ciclo en el área de empaque de la empresa X durante el 2024?

Planteamiento del problema

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó el planteamiento del problema como el corazón de toda investigación, representando el 50% del éxito del proyecto. Se estableció que un problema de investigación es una situación real, observable y verificable que requiere ser comprendida o solucionada mediante un proceso científico, y debe cumplir tres condiciones: ser real, ser investigable y ser acotado. Se presentó la estructura recomendada para redactar el problema central usando tres oraciones: situación actual del sistema, consecuencias o impactos, y vacío de información que justifica la investigación. Se introdujo el árbol de problemas como herramienta visual para identificar causas (directas e indirectas) y efectos (directos e indirectos) de manera sistemática. Se enseñó a formular preguntas científicas precisas usando la fórmula: ¿Cómo/De qué manera/En qué medida + variable independiente + afecta/influye/se relaciona con + variable dependiente + en + población + tiempo? Se explicaron las cuatro dimensiones de la delimitación: espacial (lugar exacto), temporal (periodo de estudio), población o sistema (unidades a analizar) y variables (independiente y dependiente). Se identificaron siete errores comunes al plantear problemas: formular problemas muy amplios, confundir problema con objetivo, plantear sin datos preliminares, describir causas sin demostrarlas, elegir problemas no medibles, redactar desde percepciones en lugar de evidencias, y crear problemas que no coinciden con las variables. Finalmente, se presentaron tres ejemplos prácticos completos en ingeniería ambiental, química e industrial, mostrando la aplicación de todos los conceptos aprendidos.

🔑 Conceptos clave

- **Problema de investigación:** Situación real, observable y verificable que requiere ser comprendida, explicada o solucionada mediante un proceso científico.
- **Problema real:** Problema que ocurre efectivamente en el campo, empresa, laboratorio o comunidad, no es hipotético ni teórico.
- **Problema investigable:** Situación que requiere recolección de datos empíricos para su análisis, no solo opiniones o percepciones subjetivas.
- **Problema acotado:** Problema delimitado que puede trabajarse en el tiempo y con los recursos disponibles para el estudio.
- **Estructura del problema central:** Formato de redacción en tres oraciones: (1) situación actual del sistema, (2) consecuencias o impactos, (3) vacío de información que justifica la investigación.
- **Árbol de problemas:** Herramienta visual que permite identificar y organizar sistemáticamente las causas (directas e indirectas) y efectos (directos e indirectos) de un problema central.
- **Causas directas:** Factores inmediatos que generan o contribuyen directamente a la existencia del problema central.
- **Causas indirectas:** Factores subyacentes (técnicos, operativos, ambientales, humanos) que influyen en las causas directas.
- **Efectos directos:** Consecuencias inmediatas y observables que se derivan del problema central.
- **Efectos indirectos:** Impactos a mediano y largo plazo en costos, riesgos, ambiente o sociedad que resultan de los efectos directos.
- **Pregunta científica:** Susceptible de respuesta con datos empíricos que guía todo el estudio de investigación.
- **Fórmula de pregunta científica:** Estructura estándar: ¿Cómo/De qué manera/En qué medida + variable independiente + afecta/influye/se relaciona con + variable dependiente + en + población + tiempo?
- **Delimitación espacial:** Especificación del lugar exacto donde ocurre el problema y se realizará el estudio (ciudad, distrito, empresa, planta, laboratorio).
- **Delimitación temporal:** Definición del periodo específico durante el cual se realizará el estudio (año, semestre, meses).
- **Delimitación poblacional o del sistema:** Identificación precisa de las unidades, máquinas, individuos o procesos que serán objeto de análisis.
- **Variable independiente:** Factor que se manipula, evalúa o analiza como posible causa o influencia sobre otro fenómeno.
- **Variable dependiente:** Efecto, rendimiento, respuesta técnica o resultado que se mide y que potencialmente es influenciado por la variable independiente.

💡 Ideas principales

1. El planteamiento del problema es el corazón de toda investigación. Sin un problema bien definido, ningún método funciona, ningún diseño avanza y ningún resultado es útil. En ingeniería, formular bien el problema representa el 50% del éxito del proyecto.
2. Un problema de investigación debe cumplir tres condiciones fundamentales: (1) ser real (ocurre en el campo, no es hipotético), (2) ser investigable (requiere datos empíricos, no solo opinión), y (3) ser acotado (maneja con tiempo y recursos disponibles).
3. Un problema de investigación NO es la ausencia de datos, sino la necesidad de obtenerlos para comprender o mejorar un sistema.
4. La redacción del problema central debe ser clara (sin tecnicismos innecesarios), directa (menciona situación y consecuencia) y objetiva (basada en evidencia, no en percepciones).
5. La estructura recomendada para redactar el problema central consta de tres oraciones: (1) describir la situación actual del sistema, (2) explicar las consecuencias o impactos, (3) identificar el vacío de información que justifica investigar.
6. El árbol de problemas es una herramienta clásica en investigación aplicada que permite visualizar de manera organizada las causas (directas e indirectas) y los efectos (directos e indirectos) del problema central.
7. Las causas pueden ser de naturaleza técnica, operativa, ambiental o humana, mientras que los efectos pueden manifestarse como costos adicionales, riesgos futuros, impactos ambientales o impactos sociales.
8. La pregunta científica guía todo el estudio y que pueda responderse con datos empíricos. Su formulación sigue una estructura estándar que conecta las variables con la población y el tiempo.
9. La fórmula práctica para transformar un problema en pregunta científica es: ¿Cómo/De qué manera/En qué medida + variable independiente + afecta/influye/se relaciona con + variable dependiente + en + población + tiempo?
10. La delimitación es el proceso de acotar el estudio para hacerlo manejable, y debe especificar cuatro dimensiones: espacio (lugar exacto), tiempo (periodo), población/sistema (unidades a analizar) y variables (independiente y dependiente).
11. Existen siete errores comunes al plantear problemas: (1) formular problemas muy amplios, (2) confundir problema con objetivo, (3) plantear sin datos preliminares, (4) describir causas sin demostrarlas, (5) elegir problemas no medibles, (6) redactar desde percepciones en lugar de evidencias, (7) crear problemas que no coinciden con las variables.
12. El error más frecuente es confundir el problema (que describe una situación deficiente) con el objetivo (que explica lo que el investigador hará para estudiarla).

13. Un problema debe mencionar evidencias concretas: reportes, mediciones preliminares, comparaciones con estándares, observaciones documentadas, no solo percepciones o supuestos.
14. Los problemas deben ser formulados de manera que puedan medirse, cuantificarse o verificarse objetivamente mediante instrumentos, procedimientos o análisis de datos.
15. Cada rama de la ingeniería adapta estos principios a sus contextos específicos: ingeniería ambiental (ruido, turbidez, calidad del agua), química (eficiencia de reactores, conversión, DQO), industrial (tiempos de ciclo, cuellos de botella, productividad), pero todos siguen la misma estructura metodológica.
16. La coherencia entre problema, pregunta científica, delimitación y variables es esencial: todos estos elementos deben estar perfectamente alineados y ser consistentes entre sí.

⚡ Para recordar

- ✓ **"Un problema bien planteado es un problema medio resuelto".**
- ✓ **Problema** = Situación Real + Observable + Verificable.
- ✓ **3 condiciones:** (1) Real, (2) Investigable, (3) Acotado.
- ✓ **Estructura de redacción:** Situación actual → Consecuencias → Vacío de información.
- ✓ **Características:** Clara (sin tecnicismos) + Directa (situación y consecuencia) + Objetiva (evidencia).
- ✓ **Árbol de Problemas:** Causas directas/indirectas → Problema Central → Efectos directos/indirectos.
- ✓ **Pregunta científica** = ¿Cómo/De qué manera/En qué medida + VI + afecta/influye + VD + en + población + tiempo?
- ✓ **4 dimensiones de delimitación:** Espacial (lugar) | Temporal (periodo) | Poblacional (sistema) | Variables (VI y VD).
- ✓ **Variable Independiente** = causa/factor manipulado | **Variable dependiente** = efecto/respuesta medida.
- ✓ **7 errores comunes:** Muy amplio | Confundir con objetivo | Sin datos preliminares | Causas sin demostrar | No medible | Desde percepción | Incoherente con variables.
- ✓ **Error #1:** "Los residuos sólidos en la ciudad" → Muy amplio.
- ✓ **Error #2:** Problema describe situación deficiente | Objetivo explica qué harás.
- ✓ **Siempre menciona evidencias:** reportes, mediciones, comparaciones con estándares.

- ✓ **Coherencia total:** Problema ↔ Pregunta ↔ Delimitación ↔ Variables (todos alineados).
- ✓ **Ejemplo válido:** "Turbidez variable en efluente → Incumplimiento de estándares → No se conocen factores que influyen".

☛ **Aplica lo aprendido**

Estos ejercicios te permitirán practicar la formulación de problemas de investigación siguiendo la metodología aprendida. Utiliza los problemas que identificaste en el Capítulo 2 para desarrollar estas actividades.

Ejercicio 1: Redacción del problema central: Selecciona uno de los problemas que identificaste en el Capítulo 2. Redáctalo siguiendo la estructura de 3 oraciones aprendida: (1) Situación actual del sistema, (2) Consecuencias o impactos, (3) Vacío de información. Asegúrate de que sea claro, directo y objetivo. Incluye datos preliminares si los tienes (ej: "se han registrado X incidencias", "supera el límite de Y", etc.).

Ejercicio 2: Árbol de Problemas: Construye un árbol de problemas completo para el problema que redactaste. Identifica: (a) Al menos 3 causas directas, (b) Al menos 4 causas indirectas (clasificadas como técnicas, operativas, ambientales o humanas), (c) Al menos 3 efectos directos, (d) Al menos 4 efectos indirectos (costos, riesgos, impactos ambientales o sociales). Dibuja el árbol o descríbelo en formato de lista estructurada.

Ejercicio 3: Formulación de la pregunta científica: Transforma tu problema en una pregunta científica precisa usando la fórmula aprendida: ¿Cómo/De qué manera/En qué medida + variable independiente + afecta/influye/se relaciona con

+ variable dependiente + en + población + tiempo? Verifica que tu pregunta pueda responderse con datos y no con opiniones.

Ejercicio 4: Delimitación completa: Delimita tu investigación especificando las 4 dimensiones: (a) Delimitación Espacial: ¿Dónde exactamente? (ciudad, distrito, empresa, planta, aula, laboratorio), (b) Delimitación Temporal: ¿Cuándo? (año, semestre, meses específicos), (c) Delimitación Poblacional/Sistema: ¿Qué o quiénes? (máquinas, procesos, personas, muestras), (d) Variables: ¿Cuál es la independiente (causa)? ¿Cuál es la dependiente (efecto)?

Ejercicio 5: Verificación de errores: Revisa tu problema formulado y verifica que NO comete ninguno de los 7 errores comunes. Para cada error, indica SI o NO y justifica brevemente: (1) ¿Es demasiado amplio? (2) ¿Confunde problema con objetivo? (3) ¿Tiene datos preliminares? (4) ¿Las causas están demostradas? (5) ¿Es medible? (6) ¿Está basado en evidencia, no percepción? (7) ¿Es coherente con las variables?

Ejercicio 6: Coherencia interna: Verifica la alineación entre los elementos de tu planteamiento. Completa el siguiente cuadro de verificación: (a) ¿El problema central menciona las variables que identificaste? (b) ¿La pregunta científica se deriva lógicamente del problema? (c) ¿La delimitación es coherente con el problema y la pregunta? (d) ¿Las variables de tu árbol de problemas coinciden con las de tu delimitación? Identifica y corrige cualquier incoherencia.

Ejercicio 7: Análisis comparativo: Revisa los 3 ejemplos prácticos presentados al final del capítulo (ingeniería ambiental, química e industrial). Compara tu problema con estos ejemplos: (a) ¿Qué similitudes encuentras en la estructura? (b) ¿Qué diferencias hay en el lenguaje técnico usado? (c) ¿Qué aspectos de los ejemplos podrías mejorar en tu propio planteamiento? (d) ¿Tu problema tiene el mismo nivel de precisión?

→ **Siguiente paso**

Has dado un paso fundamental en tu investigación: ahora tienes un problema claramente planteado, una pregunta científica precisa y una delimitación bien definida. El siguiente paso es determinar exactamente qué vas a lograr con tu investigación.

En el Capítulo 4 - "Objetivos de Investigación", aprenderás a construir la columna vertebral de tu estudio. Los objetivos son las metas concretas que indican qué se pretende lograr y orientan cada paso del proceso investigativo. Este capítulo es crucial porque en ingeniería, donde la investigación busca mejorar, optimizar o explicar el comportamiento de sistemas, redactar objetivos claros asegura que el estudio sea coherente y viable.

Aprenderás la diferencia fundamental entre el objetivo general (la meta más amplia que aborda el problema central) y los objetivos específicos (que dividen el trabajo en tareas concretas y secuenciales de 3 a 5 pasos). Conocerás los verbos adecuados para ingenieros, clasificados según su propósito: para describir (identificar, caracterizar, determinar, estimar), para analizar (evaluar, analizar, comparar, correlacionar), para diseñar e implementar (diseñar, modelar, simular, implementar, optimizar), y para mejorar procesos (minimizar, maximizar, controlar, regular).

También aprenderás los criterios SMART adaptados a ingeniería para verificar que tus objetivos sean: Específicos (dicen exactamente qué se hará); Medibles (pueden verificarse con datos); Asequibles (realistas con los recursos disponibles); Relevantes (alineados al problema), y Temporales (definidos para un periodo específico). Se te enseñará la fórmula práctica: Verbo + variable(s) + lugar + tiempo.

El capítulo enfatizará la relación lógica problema → objetivos, un principio fundamental: si un objetivo específico no ayuda a responder la pregunta científica, debe eliminarse; si un objetivo general no responde al problema, el planteamiento está errado. Además, contarás con una plantilla

lista para usar y ejemplos aplicados a diferentes ingenierías (ambiental, química, industrial) que te mostrarán cómo construir objetivos precisos, medibles y perfectamente alineados con tu problema.

Prepárate para transformar tu problema en un plan de acción claro y ejecutable. Los objetivos son el puente entre "qué quiero investigar" y "cómo lo voy a hacer".



***¡Felicitaciones por completar el Capítulo 3!
Tu problema está bien planteado, delimitado y listo para ser investigado.
Ahora es momento de definir tus objetivos y trazar el plan de acción.***

Capítulo 4

**Objetivos
de investigación**

Objetivos de investigación

Los objetivos son la columna vertebral del estudio. Indican qué se pretende lograr y orientan cada paso del proceso. En ingeniería, donde la investigación suele buscar mejorar, optimizar o explicar el comportamiento de un sistema, redactar objetivos claros asegura que el estudio sea coherente y viable.

Este capítulo te enseñará a construir **objetivos precisos, medibles, aplicados y alineados al problema de investigación**, utilizando verbos propios del trabajo ingenieril.

Figura 4

Esquema de elaboración de objetivos de investigación.



4.1. Diferencia entre objetivo general y objetivos específicos

Autores como Hernández y Mendoza (2018) y Creswell (2018) coinciden en que los objetivos deben expresar la finalidad del estudio y el camino para alcanzarla. Para efectos prácticos:

Objetivo general:

- Describe **la meta más amplia** del estudio.
- Aborda **el problema central**.
- Resume lo que se desea **determinar, explicar, evaluar o analizar**.

Debe tener un **único objetivo general**.

Objetivos específicos:

- Derivan del objetivo general.
- Dividen el trabajo en **tareas concretas y secuenciales**.
- Señalan **cómo se logrará** el objetivo general.

Usualmente **entre 3 y 5**.

Ejemplo simple:

- **Objetivo general:**

Evaluar la relación entre el tráfico vehicular y los niveles de ruido ambiental en la Av. La Marina, Punchana, 2024.

- **Objetivos específicos:**

1. Medir el tráfico vehicular en tres horarios establecidos.
2. Registrar los niveles de presión sonora durante el mismo periodo.
3. Analizar la correlación entre ambas variables

4.2. Verbos adecuados para ingenieros

Tamayo (2019) y Bunge (2017) sugieren utilizar verbos que indiquen acciones científicas verificables.

Para ingeniería, los mejores verbos son aquellos que expresan medición, modelamiento y optimización.

Verbos recomendados según propósito

Para describir

- Identificar.
- Caracterizar.
- Determinar.
- Estimar.

Para analizar

- Evaluar.
- Analizar.
- Comparar.
- Correlacionar.

Para diseñar e implementar

- Diseñar.
- Modelar.
- Simular.
- Implementar.
- Optimizar.

Para mejorar procesos

- Minimizar.
- Maximizar.
- Controlar.
- Regular.

Verbos prohibidos (no medibles)

- Comprender.
- Concientizar.
- Sensibilizar.
- Beneficiar.
- Ayudar.

4.3. Cómo construir objetivos coherentes

Para que un objetivo esté bien formulado debe cumplir con los criterios SMART adaptados a ingeniería (Doran, 1981):

- **S (Específico)**: Que diga exactamente qué se hará.
- **M (Medible)**: Debe poder verificarse con datos.
- **A (Asequible)**: Realista con los recursos del estudio.
- **R (Relevante)**: Alineado al problema de investigación.
- **T (Temporal)**: Definido para un periodo o escenario

Fórmula sencilla:

Verbo + variable(s) + lugar + tiempo.

Ejemplo:

Determinar la eficiencia de remoción de turbidez en la planta piloto de tratamiento de agua durante el primer semestre del 2024.

4.4. Relación problema → objetivos

Los objetivos se construyen directamente del problema.

Siguiendo a Hernández y Mendoza (2018), la relación debe ser lógica:

Problema (pregunta):

¿De qué manera el tráfico vehicular influye en los niveles de ruido ambiental en Punchana, 2024?

Objetivo general

Evaluar la influencia del tráfico vehicular en los niveles de ruido ambiental en Punchana, 2024.

Objetivos específicos:

- Medir el tráfico vehicular.
- Medir los niveles de ruido.
- Analizar la relación entre ambas variables.

☞ Si un objetivo específico **no ayuda a responder la pregunta científica**, debe eliminarse.

☞ Si un objetivo general **no responde al problema**, el planteamiento está errado.

4.5. Plantilla de elaboración de objetivos

1. Identifica la variable independiente

Ej.: Tráfico vehicular.

2. Identifica la variable dependiente

Ej.: Nivel de ruido ambiental.

3. Escoge un verbo adecuado

Ej.: Evaluar.

4. Añade el espacio y el tiempo

Ej.: Punchana, 2024.

Plantilla lista para usar

Objetivo general:

Verbo + relación entre variables + espacio + tiempo.

Ejemplo:

Evaluar la relación entre el tráfico vehicular y el nivel de ruido ambiental en Punchana durante el año 2024.

Objetivos específicos:

1. *Verbo + variable independiente o proceso.*
2. *Verbo + variable dependiente.*
3. *Verbo + relación entre ambas.*

Plantilla genérica:

1. Identificar/medir/caracterizar X.
2. Medir/evaluar/determinar Y.
3. Analizar/modelar la relación entre X y Y.
4. (Opcional en ingeniería): Proponer mejoras o alternativas técnicas.

4.6. Ejemplos aplicados a diferentes ingenierías

Ejemplo 1 – Ingeniería Ambiental.

Objetivo general:

Evaluar la calidad del agua de la quebrada Zaragoza y su posible impacto en la salud de los pobladores de Nauta en 2024.

Objetivos específicos:

1. Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.
2. Identificar casos de enfermedades relacionadas con el contacto o consumo de agua.

3. Analizar la relación entre la calidad del agua y los problemas de salud.
4. Proponer medidas técnicas de mitigación.

Ejemplo 2 – Ingeniería Química.

Objetivo general:

Optimizar la eficiencia de remoción de DQO en un reactor UASB piloto en 2024.

Objetivos específicos:

1. Evaluar la carga orgánica aplicada en distintos escenarios operativos.
2. Determinar el rendimiento del reactor en cada escenario.
3. Modelar la relación entre la carga orgánica y la remoción de DQO.
4. Identificar el punto óptimo de operación.

Ejemplo 3 – Ingeniería Industrial.

Objetivo general:

Analizar los factores que afectan el tiempo de ciclo en el área de producción de la empresa X, 2024.

Objetivos específicos:

1. Identificar actividades críticas en el proceso productivo.
2. Medir el tiempo de ciclo de cada actividad.
3. Evaluar los cuellos de botella mediante diagramas de flujo.
4. Proponer mejoras para reducir los tiempos improductivos.

Ejemplo 4 – Ingeniería de Sistemas.

Objetivo general:

Diseñar un modelo predictivo para estimar el consumo energético en viviendas del distrito de Punchana, 2024.

Objetivos específicos:

1. Identificar las variables que influyen en el consumo energético.
2. Recopilar datos históricos de consumo.
3. Entrenar un modelo de regresión o aprendizaje automático.
4. Validar la precisión del modelo diseñado.

Ejemplo 5 – Ingeniería Civil.

Objetivo general:

Determinar la capacidad portante del suelo en la zona urbana de Requena durante el 2024.

Objetivos específicos:

1. Realizar calicatas y obtener muestras representativas.
2. Determinar parámetros físicos y mecánicos del suelo.
3. Evaluar la capacidad portante mediante métodos geotécnicos.
4. Recomendar medidas de diseño estructural.

Objetivos de la investigación

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó los objetivos como la columna vertebral del estudio, indicando qué se pretende lograr y orientando cada paso del proceso investigativo. Se estableció la diferencia fundamental entre objetivo general (que describe la meta más amplia del estudio, aborda el problema central y debe ser único) y objetivos específicos (que derivan del general, dividen el trabajo en tareas concretas y secuenciales, y usualmente son entre 3 y 5). Se presentó una clasificación completa de verbos adecuados para ingenieros según su propósito: para describir (identificar, caracterizar, determinar, estimar), para analizar (evaluar, analizar, comparar, correlacionar), para diseñar e implementar (diseñar, modelar, simular, implementar, optimizar), y para mejorar procesos (minimizar, maximizar, controlar, regular). Se identificaron también verbos prohibidos por ser no medibles (comprender, concientizar, sensibilizar, beneficiar, ayudar). Se enseñó a construir objetivos coherentes aplicando los criterios SMART adaptados a ingeniería: Específico, Medible, Asequible, Relevante y Temporal, siguiendo la fórmula práctica: Verbo + variable(s) + lugar + tiempo. Se enfatizó la relación lógica problema → objetivos, estableciendo dos reglas fundamentales: si un objetivo específico no ayuda a responder la pregunta científica debe eliminarse, y si un objetivo general no responde al problema el planteamiento está errado. Se proporcionó una plantilla lista para usar con cuatro pasos: identificar variable independiente, identificar variable dependiente, escoger verbo adecuado, y añadir espacio y tiempo. Finalmente, se presentaron cinco ejemplos aplicados completos en ingeniería ambiental, química, industrial, de sistemas y civil, demostrando la aplicación de todos los conceptos en diferentes contextos ingenieriles.

🔑 Conceptos clave

- **Objetivos de investigación:** Declaraciones claras y precisas que indican qué se pretende lograr con el estudio y orientan cada paso del proceso investigativo.
- **Objetivo general:** Meta más amplia del estudio que aborda directamente el problema central y resume lo que se desea determinar, explicar, evaluar o analizar. Debe ser único (solo uno por investigación).
- **Objetivos específicos:** Metas concretas que derivan del objetivo general, dividen el trabajo en tareas secuenciales y señalan cómo se logrará el objetivo general. Usualmente entre 3 y 5.
- **Verbos para describir:** Acciones que implican caracterización o identificación: identificar, caracterizar, determinar, estimar.
- **Verbos para analizar:** Acciones que implican evaluación o comparación: evaluar, analizar, comparar, correlacionar.
- **Verbos para diseñar e implementar:** Acciones que implican creación o desarrollo: diseñar, modelar, simular, implementar, optimizar.
- **Verbos para mejorar procesos:** Acciones que implican mejora cuantificable: minimizar, maximizar, controlar, regular.
- **Verbos prohibidos:** Verbos no medibles que deben evitarse en objetivos de investigación científica: comprender, concientizar, sensibilizar, beneficiar, ayudar.
- **Criterios SMART:** Marco para verificar la calidad de objetivos: Específico (dice exactamente qué se hará), Medible (puede verificarse con datos), Asequible (realista con recursos), Relevante (alineado al problema), Temporal (definido para un periodo).
- **Específico (S):** Criterio que verifica que el objetivo diga con exactitud qué acción se realizará, sobre qué variable o sistema, sin ambigüedades.
- **Medible (M):** Criterio que verifica que el cumplimiento del objetivo pueda comprobarse mediante datos, mediciones o resultados cuantificables.
- **Asequible (A):** Criterio que verifica que el objetivo sea realista y alcanzable con los recursos disponibles (tiempo, equipos, presupuesto, personal).
- **Relevante (R):** Criterio que verifica que el objetivo esté directamente alineado con el problema de investigación y contribuya a responder la pregunta científica.
- **Temporal (T):** Criterio que verifica que el objetivo esté definido para un periodo específico o escenario delimitado en el tiempo.
- **Fórmula práctica de objetivos:** Estructura estándar para redactar objetivos: Verbo (acción medible) + variable(s) (qué se estudiará) + lugar (dónde) + tiempo (cuándo).
- **Relación problema-objetivos:** Conexión lógica obligatoria donde los objetivos se construyen directamente del problema planteado y de la pregunta científica.
- **Plantilla de elaboración:** Método sistemático de cuatro pasos: (1) Identificar variable independiente; (2) Identificar variable dependiente; (3) Escoger verbo adecuado; (4) Añadir espacio y tiempo.

💡 Ideas principales

1. Los objetivos son la columna vertebral del estudio: indican qué se pretende lograr y orientan cada paso del proceso. En ingeniería, redactar objetivos claros asegura que el estudio sea coherente y viable.
2. El objetivo general debe ser único (solo uno), describir la meta más amplia del estudio, abordar el problema central directamente, y resumir lo que se desea determinar, explicar, evaluar o analizar.
3. Los objetivos específicos derivan del objetivo general, dividen el trabajo en tareas concretas y secuenciales, señalan cómo se logrará el objetivo general, y usualmente son entre 3 y 5.
4. Los verbos utilizados en objetivos deben indicar acciones científicas verificables. Para ingeniería, los mejores verbos son aquellos que expresan medición, modelamiento y optimización.
5. Existen cuatro categorías principales de verbos recomendados: (1) para describir (identificar, caracterizar, determinar, estimar), (2) para analizar (evaluar, analizar, comparar, correlacionar), (3) para diseñar e implementar (diseñar, modelar, simular, implementar, optimizar), (4) para mejorar procesos (minimizar, maximizar, controlar, regular).
6. Los verbos prohibidos son aquellos no medibles o subjetivos: comprender, concientizar, sensibilizar, beneficiar, ayudar. Estos deben evitarse completamente en la redacción de objetivos científicos.
7. Los criterios SMART adaptados a ingeniería garantizan objetivos bien formulados: Específico (dice exactamente qué se hará). Medible (verificable con datos). Asequible (realista con recursos). Relevante (alineado al problema). Temporal (definido para un periodo).
8. La fórmula práctica para construir objetivos es: Verbo + variable(s) + lugar + tiempo. Ejemplo: "Determinar la eficiencia de remoción de turbidez en la planta piloto de tratamiento de agua durante el primer semestre del 2024".
9. Existe una relación lógica obligatoria problema → objetivos. Los objetivos se construyen directamente del problema planteado, transformando la pregunta científica en metas de acción.
10. Dos reglas fundamentales de coherencia: (1) Si un objetivo específico NO ayuda a responder la pregunta científica, debe eliminarse. (2) Si un objetivo general NO responde al problema, el planteamiento está errado.
11. La plantilla de elaboración sigue cuatro pasos sistemáticos: (1) Identificar la variable independiente. (2) Identificar la variable dependiente. (3) Escoger un verbo adecuado según el propósito. (4) Añadir el espacio geográfico y el tiempo.
12. El objetivo general típicamente sigue el formato: Verbo + relación entre variables + espacio + tiempo. Ejemplo: "Evaluar la relación entre el tráfico vehicular y el nivel de ruido ambiental en Punchana durante el año 2024".
13. Los objetivos específicos típicamente siguen una secuencia lógica de tres pasos: (1) Verbo + variable independiente o proceso. (2) Verbo + variable dependiente. (3) Verbo + relación entre ambas. Un cuarto objetivo opcional puede proponer mejoras o alternativas técnicas.

14. Cada rama de la ingeniería adapta la metodología de objetivos a su contexto específico: ambiental (calidad de agua, impacto en salud); química (optimización de reactores, eficiencia de procesos); industrial (análisis de tiempos, cuellos de botella); sistemas (modelos predictivos, algoritmos); civil (capacidad portante, diseño estructural).
15. Los ejemplos demuestran que independientemente de la rama de ingeniería, todos los objetivos siguen la misma estructura metodológica: verbo medible + variables claras + delimitación espacio temporal.
16. La coherencia total entre problema, pregunta científica y objetivos es esencial para el éxito de la investigación. Estos tres elementos deben estar perfectamente alineados y ser consistentes entre sí.

⚡ Para recordar

- ✓ **Objetivos** = Columna vertebral del estudio (indican QUÉ se logrará).
- ✓ **Objetivo General**: Uno solo | Meta más amplia | Aborda el problema central.
- ✓ **Objetivos Específicos**: 3 a 5 | Tareas concretas | Secuenciales | Derivan del general.
- ✓ **Verbos para describir**: Identificar, Caracterizar, Determinar, Estimar.
- ✓ **Verbos para analizar**: Evaluar, Analizar, Comparar, Correlacionar.
- ✓ **Verbos para diseñar**: Diseñar, Modelar, Simular, Implementar, Optimizar.
- ✓ **Verbos para mejorar**: Minimizar, Maximizar, Controlar, Regular.
- ✓ **Verbos prohibidos**: Comprender, Concientizar, Sensibilizar, Beneficiar, Ayudar (No medibles).
- ✓ **Criterios SMART**: Específico + Medible + Asequible + Relevante + Temporal.
- ✓ **Fórmula práctica**: Verbo + variable(s) + lugar + tiempo. → Ejemplo: "Determinar la eficiencia de remoción de turbidez en la planta piloto durante el 2024".
- ✓ **Relación lógica**: Problema → Pregunta científica → Objetivos (perfectamente alineados).
- ✓ **Regla #1**: Si objetivo específico NO ayuda a responder pregunta → Elimínalo.
- ✓ **Regla #2**: Si objetivo general NO responde al problema → Planteamiento errado.
- ✓ **Plantilla**: (1) Identificar VI, (2) Identificar VD, (3) Escoger verbo, (4) Añadir espacio + tiempo.
- ✓ **Objetivo General** = Verbo + relación entre variables + espacio + tiempo.
- ✓ **Objetivos Específicos secuencia**: (1) Medir VI, (2) Medir VD, (3) Analizar relación, (4) Proponer mejoras.
- ✓ **Coherencia total**: Problema ↔ Pregunta ↔ Objetivos (todos alineados).

■ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te permitirán formular objetivos claros, medibles y coherentes para tu investigación. Utiliza el problema que has venido desarrollando desde el Capítulo 2 para construir tus objetivos siguiendo la metodología aprendida.

Ejercicio 1: Formulación del Objetivo General: Basándote en el problema y la pregunta científica que formulaste en el Capítulo 3, construye tu objetivo general siguiendo estos pasos: (a) Identifica la pregunta científica que formulaste; (b) Transforma la pregunta en una declaración afirmativa; (c) Escoge un verbo adecuado de la lista aprendida; (d) Aplica la fórmula: Verbo + relación entre variables + espacio + tiempo. Verifica que sea ÚNICO, que aborde el problema central, y que resuma la meta más amplia de tu estudio.

Ejercicio 2: Formulación de Objetivos Específicos: Crea entre 3 y 5 objetivos específicos que deriven lógicamente de tu objetivo general. Sigue la secuencia recomendada: (1) Medir/caracterizar/identificar la variable independiente. (2) Medir/evaluar/determinar la variable dependiente. (3) Analizar/correlacionar/modelar la relación entre ambas. (4) OPCIONAL: Proponer mejoras o alternativas técnicas. Asegúrate de que cada objetivo sea una tarea concreta y secuencial.

Ejercicio 3: Verificación de verbos: Revisa los verbos que utilizaste en tu objetivo general y específicos. Para cada objetivo, verifica: (a) ¿El verbo indica una acción científica verificable? (b) ¿El verbo es medible y no ambiguo? (c) ¿El verbo pertenece a alguna de las categorías recomendadas (describir, analizar, diseñar, mejorar)? (d) ¿Evitaste todos los verbos prohibidos? Si encuentras verbos inadecuados, sustitúyelos por verbos apropiados de la lista.

Ejercicio 4: Aplicación de criterios SMART: Evalúa tu objetivo general y cada objetivo específico usando los criterios SMART. Para cada objetivo completa: (a) ESPECÍFICO: ¿Dice exactamente qué se hará? Sí/No, explica. (b) MEDIBLE: ¿Puede verificarse con datos? Sí/No ¿Con qué datos o instrumentos? (c) ASEQUIBLE: ¿Es realista con tus recursos? Sí/No, justifica. (d) RELEVANTE: ¿Está alineado al problema? Sí/No, explica. (e) TEMPORAL: ¿Tiene periodo definido? Sí/No, especifica.

Ejercicio 5: Verificación de coherencia: Verifica la relación lógica problema → pregunta → objetivos. Completa el siguiente análisis: (a) Escribe tu problema central; (b) Escribe tu pregunta científica. (c) Escribe tu objetivo general. (d) Pregúntate: ¿El objetivo general responde directamente a la pregunta científica? (e) Para cada objetivo específico pregúntate: ¿Este objetivo ayuda a responder la pregunta científica? Si algún objetivo NO ayuda, elimínalo o reformúlalo.

Ejercicio 6: Aplicación de la plantilla: Utiliza la plantilla de cuatro pasos para verificar que construiste tus objetivos correctamente: (1) ¿Identificaste claramente tu variable independiente? Escríbela. (2) ¿Identificaste claramente tu variable dependiente? Escríbela. (3) ¿Escogiste verbos adecuados para cada objetivo? Enuméralos. (4) ¿Añadiste el espacio geográfico y el tiempo a cada objetivo? Verifica que todos los objetivos incluyan estos elementos.

Ejercicio 7: Análisis comparativo con ejemplos: Revisa los 5 ejemplos presentados al final del capítulo (ingeniería ambiental, química, industrial, sistemas y civil). Compara tus objetivos con el ejemplo más cercano a tu rama: (a) ¿Qué similitudes encuentras en la estructura? (b) ¿Qué diferencias hay en los verbos utilizados? (c) ¿La secuencia de tus objetivos específicos es lógica como en

los ejemplos? (d) ¿Qué puedes mejorar en tus objetivos después de ver los ejemplos?

Ejercicio 8: Tabla de coherencia completa: Crea una tabla con tres columnas: (1) Problema. (2) Pregunta científica. (3) Objetivo general. (4) Objetivos específicos. Llena cada columna con los elementos que has desarrollado hasta ahora. Revisa que exista coherencia vertical perfecta: ¿Todo fluye lógicamente de arriba hacia abajo? ¿Cada elemento se deriva del anterior? ¿Hay alguna inconsistencia que debas corregir?

→ **Siguiente paso**

¡Felicitaciones! Ya tienes los elementos fundamentales de tu investigación: un problema bien planteado, una pregunta científica precisa, y objetivos claros y medibles. Ahora es momento de responder una pregunta crucial: ¿Por qué vale la pena realizar esta investigación?

En el Capítulo 5 - "Justificación", aprenderás a explicar y demostrar por qué tu estudio tiene sentido, da valor, responde a una necesidad real y aporta conocimiento útil. La justificación es crucial en ingeniería porque permite evidenciar el aporte técnico y práctico del proyecto, además de su relevancia social, económica y científica.

Aprenderás a responder cuatro preguntas fundamentales: (1) ¿Por qué se debe investigar este problema? (2) ¿Qué beneficios traerá el estudio? (3) ¿A quiénes beneficiará? (4) ¿Qué aporta este estudio que aún no se ha hecho? El capítulo te enseñará a construir una justificación completa que abarque cuatro dimensiones esenciales.

Conocerás la **justificación técnica**, que describe el aporte ingenieril del estudio: qué se mejorará, evaluará o desarrollará desde el punto de vista técnico (diseño de prototipos, optimización de sistemas, modelamiento de fenómenos, reducción de fallas, estandarización de procesos).

Aprenderás la **justificación social**, que explica a quién beneficia la investigación y de qué manera: qué grupos sociales se beneficiarán, si disminuirá riesgos para la población, si mejorará la calidad de vida o la salud, o si promoverá mejores condiciones ambientales.

Dominarás la **justificación científica**, que se refiere al aporte al conocimiento: qué vacío de conocimiento llena el estudio, qué modelo, técnica o información nueva aporta, qué resultados permitirán futuras investigaciones, y cómo se diferencia de investigaciones previas.

Finalmente, conocerás la **justificación económica**, que explica cuánto ahorra, cuánto optimiza o qué impacto económico genera la investigación: si permitirá ahorrar recursos, optimizar el uso de energía, materiales o tiempo, evitar gastos innecesarios, o incrementar la productividad.

El capítulo incluye preguntas guía para cada tipo de justificación y cuatro ejemplos didácticos completos en diferentes ramas de la ingeniería que te mostrarán cómo redactar justificaciones convincentes, completas y bien fundamentadas.

Prepárate para aprender a defender tu investigación y demostrar por qué merece ser realizada. Una buena justificación no solo convence a los evaluadores, sino que también te ayuda a ti mismo a mantener clara la relevancia de tu trabajo.



***¡Excelente trabajo completando el Capítulo 4!
Tus objetivos están claros, son medibles y están perfectamente alineados
con tu problema.
Ahora es momento de demostrar por qué tu investigación es valiosa y necesaria.***

Capítulo 5

Justificación

Justificación

La justificación explica **por qué vale la pena realizar la investigación**. Es la sección donde el investigador demuestra que su estudio **tiene sentido, da valor, responde a una necesidad real y aporta conocimiento útil**.

En ingeniería, la justificación es crucial porque permite evidenciar el aporte técnico y práctico del proyecto, además de su relevancia social, económica y científica.

Figura 5

Justificación de la Investigación.



5.1. ¿Por qué justificar un estudio?

Justificar significa **dar razones sólidas** que expliquen la importancia del trabajo (Hernández y Mendoza, 2018; Tamayo, 2019).

Una buena justificación responde cuatro preguntas fundamentales:

1. ¿Por qué se debe investigar este problema?
2. ¿Qué beneficios traerá el estudio?
3. ¿A quiénes beneficiará?
4. ¿Qué aporta este estudio que aún no se ha hecho?

Creswell (2018) recomienda que toda investigación describa la **contribución práctica, la necesidad científica**, y el impacto potencial en la comunidad o en el entorno productivo.

En ingeniería, justificar un estudio es especialmente importante porque muchas investigaciones se traducen en **mejoras de procesos, innovación tecnológica, reducción de costos, diseños más seguros, o soluciones a problemas ambientales reales**.

5.2. Justificación técnica

Describe **el aporte ingenieril** del estudio: lo que se mejorará, evaluará o desarrollará desde un punto de vista técnico.

Debe responder:

- ¿Qué mejora o innovación técnica ofrece?
- ¿Qué sistema, proceso o diseño se optimizará?
- ¿Qué evidencia técnica se generará?
- ¿Qué falla se resolverá?

Ejemplos de aportes técnicos:

- Diseño de un prototipo.
- Optimización de un sistema de tratamiento.
- Modelamiento de un fenómeno.
- Reducción de fallas o riesgos.
- Estandarización de un proceso operativo.

Ejemplo de redacción:

Este estudio ofrece una justificación técnica al permitir evaluar la eficiencia del proceso de coagulación–floculación bajo diferentes condiciones operativas, generando información para mejorar el rendimiento del sistema de tratamiento de agua.

5.3. Justificación social

Explica a **quién beneficia la investigación y de qué manera**. Según Bunge (2017), toda investigación aplicada debe tener un propósito social claro.

Preguntas guía:

- ¿Qué grupos sociales se beneficiarán?
- ¿Disminuirá riesgos para la población?
- ¿Mejorará la calidad de vida o la salud?
- ¿Promoverá mejores condiciones ambientales?

Ejemplos:

- Reducción de enfermedades por contaminación.
- Reducción de ruido para residentes urbanos.
- Mejora de servicios públicos (agua, energía, transporte).
- Contribución al bienestar comunitario.

Ejemplo de redacción:

La investigación tiene una justificación social porque permitirá conocer los niveles de ruido que afectan a los residentes de la Av. La Marina, promoviendo medidas de mitigación que reduzcan el impacto en su salud y bienestar.

5.4. Justificación científica

Se refiere al **aporte al conocimiento**, es decir, lo que la investigación añade al campo científico (Creswell, 2018).

Preguntas guía:

- ¿Qué vacío de conocimiento llena el estudio?
- ¿Qué modelo, técnica o información nueva aporta?
- ¿Qué resultados permitirán futuras investigaciones?
- ¿Cómo se diferencia de investigaciones previas?

Ejemplos:

- Generar datos que no existían.
- Proponer un nuevo enfoque metodológico.
- Validar una técnica o modelo existente.
- Ampliar el conocimiento sobre un fenómeno.

Ejemplo:

La justificación científica radica en que el estudio permitirá analizar la relación entre tráfico y ruido en áreas tropicales urbanas, una zona con escasos registros acústicos y con condiciones climáticas particulares que modifican la propagación sonora.

5.5. Justificación económica

Explica cuánto ahorra, **cuánto optimiza o qué impacto económico genera** la investigación. Tamayo (2019) indica que toda investigación aplicada debe, en lo posible, demostrar eficiencia o reducción de costos.

Preguntas guía:

- ¿El estudio permitirá ahorrar recursos?
- ¿Se optimizará el uso de energía, materiales o tiempo?
- ¿Se podrán evitar gastos innecesarios?
- ¿Incrementará la productividad?

Ejemplos:

- Menor consumo energético.
- Reducción de desperdicios.
- Minimización de gastos operativos.
- Evitar multas ambientales.

Ejemplo de redacción:

La investigación tiene una justificación económica, ya que identificar los factores que afectan la eficiencia del reactor UASB permitirá reducir costos de operación y minimizar el uso de energía en el proceso.

5.6. Preguntas guía para elaborar la justificación

Preguntas técnicas

- ¿Qué proceso o sistema mejorará el estudio?
- ¿Qué innovación técnica se generará?

Preguntas sociales

- ¿A qué población beneficia?
- ¿De qué forma reduce riesgos o mejora la calidad de vida?

Preguntas científicas

- ¿Qué conocimiento nuevo aporta?
- ¿Qué vacío llenará?

Preguntas económicas

- ¿Qué recursos se optimizarán?
- ¿Qué costos disminuirán?

5.7. Ejemplos didácticos

Ejemplo 1 – Ingeniería Ambiental

Justificación técnica

El estudio permitirá medir los niveles de PM2.5 en la zona urbana de Iquitos, información necesaria para validar modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

Justificación social

Los resultados ayudarán a identificar riesgos para la salud de los residentes, especialmente niños y adultos mayores.

Justificación científica

Aporta datos inéditos sobre contaminación en ciudades amazónicas, donde la humedad y temperatura modifican la dispersión de partículas.

Justificación económica

Permite orientar acciones municipales evitando costos futuros en salud pública.

Ejemplo 2 – Ingeniería Industrial

Justificación técnica

Identificar los cuellos de botella permitirá optimizar el flujo de producción.

Justificación social

Mejorará las condiciones laborales al reducir cargas operativas.

Justificación científica

Aporta un análisis sistemático del ciclo de producción en entornos tropicales.

Justificación económica

Reduce tiempos improductivos y aumenta la productividad de la planta.

Ejemplo 3 – Ingeniería Química

Justificación técnica

Determinar la eficiencia del proceso de remoción de turbidez permitirá mejorar el diseño del sistema de tratamiento.

Justificación social

Mejora el acceso a agua de calidad.

Justificación científica

Ofrece datos para validar modelos de coagulación bajo condiciones amazónicas.

Justificación económica

Reduce el consumo de coagulantes y los costos operativos.

Ejemplo 4 – Ingeniería de Sistemas

Justificación técnica

Un modelo predictivo permitirá anticipar el consumo energético doméstico.

Justificación social

Ayudará a las familias a usar mejor la energía.

Justificación científica

Genera un modelo adaptado a regiones de clima húmedo.

Justificación económica

Reduce el gasto mensual en electricidad.

Ejemplo 5 – Ingeniería Civil

Justificación técnica

La evaluación de la capacidad portante permitirá diseñar cimentaciones más seguras.

Justificación social

Mejora la seguridad de las viviendas.

Justificación científica

Genera parámetros geotécnicos actualizados.

Justificación económica

Evita sobrecostos en el diseño estructural.

Justificación

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó la justificación como la sección que explica por qué vale la pena realizar la investigación, demostrando que el estudio tiene sentido, da valor, responde a una necesidad real y aporta conocimiento útil. Se estableció que justificar significa dar razones sólidas que expliquen la importancia del trabajo, respondiendo cuatro preguntas fundamentales: (1) ¿Por qué se debe investigar este problema? (2) ¿Qué beneficios traerá el estudio? (3) ¿A quiénes beneficiará? (4) ¿Qué aporta este estudio que aún no se ha hecho? Se presentaron las cuatro dimensiones de la justificación. La **Justificación Técnica** describe el aporte ingenieril: qué se mejorará, evaluará o desarrollará desde el punto de vista técnico, respondiendo qué mejora o innovación técnica ofrece, qué sistema o proceso se optimizará, qué evidencia técnica se generará, y qué falla se resolverá. La **Justificación Social** explica a quién beneficia la investigación y de qué manera, identificando qué grupos sociales se beneficiarán, si disminuirá riesgos para la población, si mejorará la calidad de vida o la salud, y si promoverá mejores condiciones ambientales. La **Justificación Científica** se refiere al aporte al conocimiento: qué vacío de conocimiento llena el estudio, qué modelo, técnica o información nueva aporta, qué resultados permitirán futuras investigaciones, y cómo se diferencia de investigaciones previas. La **Justificación Económica** explica cuánto ahorra, cuánto optimiza o qué impacto económico genera la investigación: si permitirá ahorrar recursos, optimizar el uso de energía, materiales o tiempo, evitar gastos innecesarios, o incrementar la productividad. Se proporcionaron preguntas guías específicas para elaborar cada tipo de justificación. Finalmente, se presentaron cinco ejemplos didácticos completos en ingeniería ambiental, industrial, química, de sistemas y civil, mostrando cómo redactar justificaciones integrales que abarquen las cuatro dimensiones en contextos ingenieriles diversos.

🔑 Conceptos clave

- **Justificación:** Sección de la investigación que explica por qué vale la pena realizar el estudio, demostrando que tiene sentido, da valor, responde a una necesidad real y aporta conocimiento útil.
- **Justificar:** Dar razones sólidas que expliquen la importancia del trabajo de investigación, sustentando su relevancia técnica, social, científica y económica.
- **Cuatro preguntas fundamentales:** Marco de análisis para elaborar la justificación: (1) ¿Por qué se debe investigar este problema? (2) ¿Qué beneficios traerá el estudio? (3) ¿A quiénes beneficiará? (4) ¿Qué aporta este estudio que aún no se ha hecho?
- **Justificación técnica:** Dimensión que describe el aporte ingenieril del estudio: lo que se mejorará, evaluará o desarrollará desde un punto de vista técnico, incluyendo innovaciones, optimizaciones, modelamientos, reducciones de fallas o estandarizaciones.
- **Aporte ingenieril:** Contribución técnica específica del estudio: diseño de prototipos, optimización de sistemas, modelamiento de fenómenos, reducción de fallas o riesgos, estandarización de procesos operativos.
- **Justificación social:** Dimensión que explica a quién beneficia la investigación y de qué manera, identificando grupos sociales beneficiados, reducción de riesgos para la población, mejora de calidad de vida o salud, y promoción de mejores condiciones ambientales.
- **Propósito social:** Finalidad de la investigación aplicada orientada al beneficio de la comunidad o grupos específicos de la población, respondiendo a necesidades reales de la sociedad.
- **Justificación científica:** Dimensión que se refiere al aporte al conocimiento: qué vacío de conocimiento llena el estudio, qué información nueva aporta, qué resultados permitirán futuras investigaciones, y cómo se diferencia de investigaciones previas.
- **Aporte al conocimiento:** Contribución científica del estudio al campo de investigación: generación de datos inexistentes, propuesta de nuevos enfoques metodológicos, validación de técnicas o modelos, ampliación del conocimiento sobre fenómenos.
- **Vacío de conocimiento:** Aspecto o área de un tema específico sobre el cual no existe información suficiente, actualizada o aplicable al contexto particular del estudio.
- **Justificación económica:** Dimensión que explica cuánto ahorra, cuánto optimiza o qué impacto económico genera la investigación: ahorro de recursos, optimización del uso de energía, materiales o tiempo, evitación de gastos innecesarios, incremento de productividad.
- **Impacto económico:** Efecto cuantificable de la investigación en términos de ahorro de costos, optimización de recursos, incremento de productividad o prevención de gastos futuros.
- **Contribución práctica:** Aplicabilidad directa de los resultados del estudio a la resolución de problemas reales, mejora de procesos, innovación tecnológica, reducción de costos, diseños más seguros o soluciones ambientales.

- **Necesidad científica:** Justificación basada en la ausencia de información, modelos, técnicas o datos que el estudio busca generar para llenar un vacío en el conocimiento del campo.
- **Impacto potencial:** Alcance esperado de los beneficios del estudio en la comunidad, entorno productivo, campo científico o sector económico, considerando efectos a corto, mediano y largo plazo.

💡 Ideas principales

1. La justificación explica por qué vale la pena realizar la investigación, demostrando que el estudio tiene sentido, da valor, responde a una necesidad real y aporta conocimiento útil.
2. En ingeniería, la justificación es crucial porque permite evidenciar el aporte técnico y práctico del proyecto, además de su relevancia social, económica y científica.
3. Justificar significa dar razones sólidas que expliquen la importancia del trabajo, no solo describir qué se hará sino demostrar por qué debe hacerse.
4. Toda investigación debe responder cuatro preguntas fundamentales: (1) ¿Por qué se debe investigar este problema? (2) ¿Qué beneficios traerá el estudio? (3) ¿A quiénes beneficiará? (4) ¿Qué aporta este estudio que aún no se ha hecho?
5. Una buena justificación debe describir tres elementos esenciales: la contribución práctica (aporte aplicable), la necesidad científica (vacío que llena), y el impacto potencial en la comunidad o entorno productivo.
6. En ingeniería, justificar es especialmente importante porque muchas investigaciones se traducen en mejoras de procesos, innovación tecnológica, reducción de costos, diseños más seguros o soluciones a problemas ambientales reales.
7. La justificación técnica describe el aporte ingenieril del estudio: qué se mejorará, evaluará o desarrollará desde el punto de vista técnico, incluyendo mejoras, innovaciones, optimizaciones de sistemas, generación de evidencia técnica y resolución de fallas.
8. Los aportes técnicos incluyen: diseño de prototipos, optimización de sistemas de tratamiento, modelamiento de fenómenos, reducción de fallas o riesgos, y estandarización de procesos operativos.
9. La justificación social explica a quién beneficia la investigación y de qué manera, identificando grupos sociales específicos, reducción de riesgos poblacionales, mejora de calidad de vida o salud, y promoción de mejores condiciones ambientales.
10. Según Bunge (2017), toda investigación aplicada debe tener un propósito social claro, contribuyendo al bienestar de la comunidad o grupos específicos de la población.
11. Los beneficios sociales incluyen: reducción de enfermedades por contaminación, reducción de ruido para residentes urbanos, mejora de servicios públicos (agua, energía, transporte), y contribución al bienestar comunitario.

12. La justificación científica se refiere al aporte al conocimiento: qué vacío llena el estudio, qué modelo, técnica o información nueva aporta, qué resultados permitirán futuras investigaciones, y cómo se diferencia de investigaciones previas.
13. El aporte científico puede manifestarse como: generación de datos que no existían, propuesta de nuevos enfoques metodológicos, validación de técnicas o modelos existentes, o ampliación del conocimiento sobre fenómenos específicos.
14. La justificación económica explica cuánto ahorra, cuánto optimiza o qué impacto económico genera la investigación, demostrando eficiencia o reducción de costos siempre que sea posible.
15. Los impactos económicos incluyen: menor consumo energético, reducción de desperdicios, minimización de gastos operativos, evitación de multas ambientales, o incremento de la productividad.
16. Una justificación completa y convincente debe integrar las cuatro dimensiones (técnica, social, científica y económica), demostrando que el estudio es valioso desde múltiples perspectivas.
17. Cada rama de la ingeniería adapta estas dimensiones a su contexto específico: ambiental (PM2.5, salud pública, ciudades amazónicas); industrial (cuellos de botella, condiciones laborales, productividad); química (turbidez, calidad de agua, coagulantes); sistemas (modelos predictivos, consumo energético, clima húmedo); civil (capacidad portante, seguridad de viviendas, parámetros geotécnicos).

↪ **Para recordar:**

- ✓ **Justificación** = Explicar POR QUÉ vale la pena realizar la investigación.
- ✓ **Demuestra:** Tiene sentido + Da valor + Responde necesidad real + Aporta conocimiento útil.
- ✓ **4 preguntas fundamentales:** (1) ¿Por qué investigar? (2) ¿Qué beneficios? (3) ¿A quiénes beneficia? (4) ¿Qué aporta de nuevo?
- ✓ **3 elementos esenciales:** Contribución práctica + Necesidad científica + Impacto potencial.
- ✓ **Justificación Técnica (Aporte ingenieril):**
 - ¿Qué mejora o innovación técnica ofrece?
 - ¿Qué sistema, proceso o diseño se optimizará?
 - ¿Qué evidencia técnica se generará?
 - ¿Qué falla se resolverá?
 - Ejemplos: Prototipos, Optimización, Modelamiento, Reducción de fallas, Estandarización.

✓ **Justificación Social (Beneficiarios):**

- ¿Qué grupos sociales se beneficiarán?
- ¿Disminuirá riesgos para la población?
- ¿Mejorará calidad de vida o salud?
- ¿Promoverá mejores condiciones ambientales?
- Ejemplos: Reducción enfermedades, Reducción ruido, Mejora servicios, Bienestar comunitario.

✓ **Justificación Científica (Aporte al conocimiento):**

- ¿Qué vacío de conocimiento llena?
- ¿Qué modelo, técnica o información nueva aporta?
- ¿Qué resultados permitirán futuras investigaciones?
- ¿Cómo se diferencia de investigaciones previas?
- Ejemplos: Datos nuevos, Enfoque metodológico, Validación técnica, Ampliación conocimiento.

✓ **Justificación Económica (Impacto financiero):**

- ¿Permitirá ahorrar recursos?
- ¿Optimizará energía, materiales o tiempo?
- ¿Evitará gastos innecesarios?
- ¿Incrementará productividad?
- Ejemplos: Menor consumo energético, Reducción desperdicios, Menos gastos operativos, Evitar multas.

✓ **En ingeniería:** Investigación = Mejoras procesos + Innovación + Reducción costos + Diseños seguros + Soluciones ambientales.

✓ **Una justificación completa integra las 4 dimensiones:** Técnica + Social + Científica + Económica.

✓ Cada rama adapta las dimensiones a su contexto específico.

■ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te ayudarán a construir una justificación completa e integral para tu investigación. Utiliza el problema, pregunta científica y objetivos que has desarrollado en los capítulos anteriores para elaborar tu justificación en las cuatro dimensiones.

Ejercicio 1: Elaboración de justificación técnica: Redacta la justificación técnica de tu investigación respondiendo las cuatro preguntas clave: (a) ¿Qué mejora o innovación técnica ofrece tu estudio? (b) ¿Qué sistema, proceso o diseño se optimizará con tu investigación? (c) ¿Qué evidencia técnica generará tu estudio que actualmente no existe? (d) ¿Qué falla específica se resolverá con los resultados de tu investigación? Redacta un párrafo coherente (5-8 líneas) que integre estas respuestas.

Ejercicio 2: Elaboración de justificación social: Redacta la justificación social de tu investigación identificando claramente: (a) ¿Qué grupos sociales específicos se beneficiarán con tu estudio? (sean trabajadores, residentes, estudiantes, comunidades, etc.). (b) ¿De qué manera tu investigación disminuirá riesgos para la población? (c) ¿Cómo mejorará la calidad de vida o la salud de los beneficiarios? (d) ¿Qué condiciones ambientales mejorará? Redacta un párrafo coherente (5-8 líneas) explicando el impacto social.

Ejercicio 3: Elaboración de justificación científica: Redacta la justificación científica de tu investigación explicando: (a) ¿Qué vacío de conocimiento específico llena tu estudio en el campo de tu ingeniería? (b) ¿Qué modelo, técnica, datos o información nueva aportará tu investigación? (c) ¿De qué manera tus resultados permitirán o facilitarán futuras investigaciones en el tema? (d) ¿Cómo se diferencia tu enfoque de investigaciones previas similares? Redacta un párrafo coherente (5-8 líneas) sobre el aporte científico.

Ejercicio 4: Elaboración de justificación económica: Redacta la justificación económica de tu investigación respondiendo: (a) ¿Tu estudio permitirá ahorrar recursos? ¿Cuáles y en qué magnitud aproximada? (b) ¿Se optimizará el uso de energía, materiales o tiempo? Explica cómo. (c) ¿Qué gastos innecesarios o futuros se podrán evitar con tus resultados? (d) ¿De qué manera incrementará la productividad o eficiencia del sistema estudiado? Redacta un párrafo coherente (5-8 líneas) sobre el impacto económico.

Ejercicio 5: Análisis comparativo con ejemplos: Revisa los 5 ejemplos didácticos presentados al final del capítulo (ingeniería ambiental, industrial, química, sistemas y civil). Selecciona el ejemplo más cercano a tu rama y compara tu justificación con ese ejemplo: (a) ¿Qué similitudes encuentras en el enfoque técnico? (b) ¿Tu justificación social identifica beneficiarios tan específicos como en el ejemplo? (c) ¿Tu aporte científico es igualmente claro? (d) ¿Qué elementos del ejemplo podrías incorporar para mejorar tu justificación?

Ejercicio 6: Verificación de las 4 preguntas fundamentales: Verifica que tu justificación completa (integrando las 4 dimensiones) responda claramente las cuatro preguntas fundamentales: (1) ¿Por qué se debe investigar este problema? Cita específicamente dónde lo explicas. (2) ¿Qué beneficios traerá el estudio? Lista al menos 3 beneficios concretos. (3) ¿A quiénes beneficiará? Identifica grupos específicos. (4) ¿Qué aporta este estudio que aún no se ha hecho? Explica la novedad u originalidad.

Ejercicio 7: Integración de dimensiones: Verifica la coherencia entre las cuatro dimensiones de tu justificación: (a) ¿El aporte técnico que describes es consistente con tus objetivos? (b) ¿Los beneficiarios sociales que identificas tienen relación directa con el problema planteado? (c) ¿El vacío científico que mencionas es evidente en tu revisión de antecedentes? (d) ¿El impacto económico que propones es realista y medible? Identifica cualquier inconsistencia y corrígela.

Ejercicio 8: Redacción de justificación completa: Integra todas las dimensiones en una justificación completa bien estructurada. Organiza tu texto en 4 párrafos, uno para cada dimensión, manteniendo coherencia y fluidez entre ellos. Asegúrate de que: (a) Cada párrafo tenga 5-8 líneas. (b) Use lenguaje técnico, pero claro. (c) Sea específico y no genérico. (d) Cite evidencias o datos cuando sea posible. (e) Conecte lógicamente una dimensión con otra.

→ **Siguiente paso**

¡Excelente trabajo! Ya has construido los pilares fundamentales de tu investigación: problema bien planteado, pregunta científica precisa, objetivos claros y medibles, y justificación completa que demuestra por qué tu estudio es valioso. Ahora es momento de construir la base conceptual que sustentará todo tu trabajo.

En el Capítulo 6 "Marco Teórico", aprenderás a construir el fundamento conceptual de tu investigación. El marco teórico es el conjunto de ideas, teorías, modelos, ecuaciones, conceptos y antecedentes que explican el fenómeno que estudias. En ingeniería, esto significa comprender cómo funciona el sistema que vas a evaluar, modelar o mejorar.

Aprenderás que el marco teórico responde a la pregunta: "¿Qué necesito saber para entender mi problema de ingeniería?" Conocerás las seis funciones esenciales del marco teórico: sustentar el problema y objetivos; definir conceptos

clave, seleccionar modelos y ecuaciones; construir hipótesis y variables; evitar repetir estudios; y aportar rigor científico.

El capítulo te enseñará sobre las fuentes de información científica, clasificadas en: primarias (artículos científicos, tesis de posgrado, patentes, normas técnicas ISO/ASTM/IEEE); secundarias (revisiones sistemáticas, libros, capítulos, informes técnicos); y terciarias (enciclopedias, diccionarios, bases de datos). Aprenderás que siempre debes priorizar fuentes primarias en ingeniería.

Dominarás cómo realizar búsquedas efectivas en bases de datos especializadas como Google Scholar, Scielo, IEEE Xplore, ScienceDirect y PubMed, utilizando operadores booleanos, palabras clave, sinónimos y filtros avanzados. Conocerás la estrategia de búsqueda en 5 pasos: definir palabras clave, agregar sinónimos, usar operadores booleanos, filtrar por año/tipo/revista, y revisar 10-20 artículos recientes.

Aprenderás a elaborar antecedentes de investigación siguiendo una estructura de 6 elementos: autor(es), año, qué hicieron, cómo lo hicieron, qué encontraron, y qué aporta a tu estudio. El capítulo incluye ejemplos completos de antecedentes en ingeniería ambiental, industrial y de sistemas.

También conocerás cómo construir una base teórica sólida con definiciones claras de conceptos, teorías relevantes, modelos matemáticos, leyes físicas y ecuaciones fundamentales. Aprenderás el sistema de citación APA 7^a edición para referenciar correctamente todas tus fuentes.

Finalmente, verás un ejemplo final completo de marco teórico bien estructurado que integra todos los elementos: antecedentes, bases teóricas, conceptos, modelos y referencias.

Prepárate para construir el fundamento teórico sólido que respaldará científicamente toda tu investigación. Un buen marco teórico es la diferencia entre una investigación superficial y una investigación rigurosa y bien fundamentada.



***¡Felicitaciones por completar el Capítulo 5!
Has demostrado por qué tu investigación es valiosa, necesaria e importante.
Ahora es momento de construir la base teórica que sustentará científicamente tu
trabajo.***

Capítulo 6

Marco teórico

Marco teórico

6.1. ¿Qué es el marco teórico?

El **marco teórico** es la base conceptual que sustenta una investigación. Es el conjunto de **ideas, teorías, modelos, ecuaciones, conceptos y antecedentes** que explican el fenómeno que se estudia.

Figura 6

Marco teórico de la investigación.



Según Hernández et al. (2014), el marco teórico es “la revisión documental que permite fundamentar teóricamente el problema” (p. 58) y guiar la definición de variables y métodos. En ingeniería, esto significa **comprender cómo funciona el sistema que se va a evaluar, modelar o mejorar**.

En pocas palabras:

☞ **El marco teórico responde a: "¿Qué necesito saber para entender mi problema de ingeniería?"**

6.2. Funciones del marco teórico

El marco teórico cumple funciones esenciales:

1. **Sustentar el problema y los objetivos:** Permite demostrar que el fenómeno es real, medible y estudiado por otros autores.
2. **Definir conceptos clave:** Evita ambigüedad y asegura un lenguaje técnico claro.
3. **Seleccionar modelos y ecuaciones:** En ingeniería, la teoría se expresa mediante leyes físicas, ecuaciones, algoritmos o principios científicos.
4. **Construir hipótesis y variables:** La teoría permite saber qué medir, cómo medir y por qué.
5. **Evitar repetir estudios:** La revisión del estado del arte revela qué se conoce y qué falta por investigar.
6. **Aportar rigor científico:** Da credibilidad al trabajo, porque se apoya en conocimiento validado (Hernández et al., 2014; Kerlinger y Lee, 2002).

6.3. Fuentes de información científica

En investigación es vital usar fuentes confiables. Se clasifican en:

a) Fuentes primarias

Son documentos originales:

- Artículos científicos (IEEE, Scielo, ScienceDirect).
- Tesis de posgrado.
- Patentes.
- Normas técnicas (ISO, ASTM, NTP, IEEE Standards).

b) Fuentes secundarias

Analizan o resumen las primarias:

- Revisiones sistemáticas.
- Libros.
- Capítulos de libro.
- Informes técnicos.

c) Fuentes terciarias

Organizan y clasifican la información:

- Enciclopedias.
- Diccionarios.
- Bases de datos (Google Scholar, Scopus).

Según Bernal (2020), siempre se debe priorizar **fuentes primarias** en ingeniería, pues contienen datos técnicos, experimentales y modelos matemáticos actualizados.

6.4. Cómo realizar búsquedas efectivas

Los ingenieros deben saber buscar como un profesional. Aquí tienes los mejores recursos:

a) Google Scholar

☞ Úsalo con operadores:

- "Ruido ambiental" "barreras vegetales"
- Ideal para investigaciones en Latinoamérica.
- intitle:"modelado acústico"
- "Wastewater treatment" AND "activated sludge"

b) Scielo

☞ Ideal para investigaciones en Latinoamérica.

c) IEEE Xplore

☞ Fundamental para ingeniería eléctrica, electrónica, sistemas, automatización, IA, telecomunicaciones.

d) ScienceDirect

☞ Incluye ingeniería ambiental, mecánica, química, materiales, energética.

e) PubMed

☞ Excelente para estudios sobre salud ocupacional, ergonomía, ruido y vibraciones.

f) Normas técnicas

- **ISO** (acústica, calidad del agua, metrología).
- **ASTM** (materiales, suelos, residuos).
- **IEEE Standards** (sistemas eléctricos, comunicaciones).

Estrategia de búsqueda

1. Define tus **palabras clave** (keywords).
2. Agrega **sinónimos**.
3. Usa operadores booleanos (**AND, OR, NOT**).
4. Filtra por **año, tipo y revista**.
5. Revisa **10–20** artículos recientes.

6.5. Cómo elaborar antecedentes (ejemplo completo)

Los antecedentes resumen investigaciones previas relevantes. Deben presentar:

1. Autor(es).
2. Año.
3. Qué hicieron.
4. Cómo lo hicieron.
5. Qué encontraron.
6. Qué aporta a tu estudio.

Ejemplo aplicado (Ingeniería Ambiental)

Barboza y Sánchez (2021) evaluaron la eficacia de barreras verdes en la reducción de ruido vehicular en Lima mediante mediciones con sonómetros Clase 1. Concluyeron que las barreras arbustivas reducen entre 3 y 6 dB(A). Este estudio aporta evidencia técnica para el diseño de barreras en contextos urbanos similares.

Ejemplo aplicado (Ingeniería Industrial)

Rojas (2020) diseñó un modelo de optimización para disminuir tiempos de producción usando simulación en Arena®. Demostró una mejora del 15% en el throughput. Este trabajo aporta un referente metodológico para proyectos de optimización.

Ejemplo aplicado (Ingeniería de Sistemas)

Martínez et al. (2019) desarrollaron una red neuronal para pronosticar demanda eléctrica con 92% de precisión. Aporta técnicas avanzadas para modelado predictivo.

6.6. Cómo construir una base teórica

La base teórica debe contener:

1. Conceptos fundamentales

Define los conceptos que forman tu sistema:

- Ruido ambiental.
- Eficiencia energética.
- Caudal.
- Transferencia de calor.
- Concentración, etc.

2. Modelos matemáticos

Ecuaciones típicas:

- Ley de Ohm.
- Balance de materia.
- Ecuación de Darcy.
- Modelo de Arrhenius.
- Ley del inverso del cuadrado (acústica).
- Ecuaciones de Navier–Stokes (flujo).

2. Principios, leyes o teoremas

Ejemplo en ingeniería ambiental:

La atenuación sonora se modela mediante la ecuación:

$\Delta L = L_1 - L_2$, donde ΔL es la reducción en dB(A).

4. Diagramas, esquemas y definiciones técnicas

La base teórica debe construir el “lenguaje” del proyecto.

6.7. Modelos, leyes, ecuaciones y principios para la ingeniería

El marco teórico de ingeniería debe incluir:

Ingeniería Química

- Balance de masa: \sum entalpías.
- Ley de Henry.
- Cinética de reacción.

Ingeniería Ambiental

- Normas de calidad ambiental.
- Modelos de dispersión (Gaussiano).
- Ecuaciones de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Ingeniería Civil

- Ecuación de Manning.
- Propiedades mecánicas del suelo.
- Ley de Hooke.

Ingeniería Mecánica

- Termodinámica (1ª y 2ª ley).
- Diagramas p–V.
- Energía de fluidos.

Ingeniería Eléctrica

- Leyes de Maxwell.
- Modelos de circuitos RLC.

Ingeniería de Sistemas

- Modelos estadísticos.
- Algoritmos de aprendizaje automático.
- Redes neuronales.

Cada ecuación debe citarse según su origen.

6.8. Cómo citar y referenciar en APA

Cita textual corta (<40 palabras)

Ejemplo: “Las barreras vegetales pueden reducir entre 3 y 6 dB(A)” (Barboza y Sánchez, 2021, p. 45).

Cita parafraseada

Según Kerlinger y Lee (2002), la teoría guía el proceso de investigación.

Referencia básica APA

Autor. (Año). *Título en cursiva*. Editorial.

Artículo científico

Apellido, A., y Apellido, B. (Año). Título. *Revista*, volumen(número), páginas.
<https://doi.org/xxx>

6.9. Ejemplo final de marco teórico

6.9.1. Antecedentes

Se resumen 4–6 estudios recientes (a modo de ejemplo se usaron los anteriores).

6.9.2. Base conceptual

- Ruido ambiental.
- Atenuación sonora.
- Barreras vegetales.
- Decibelios (dB), nivel sonoro.

6.9.3. Modelos y ecuaciones

Ejemplo:

El nivel de presión sonora disminuye con la distancia según la ley del inverso del cuadrado (Ecuación 1).

Ecuación 1:

$$L_2 = L_1 - 20 \log(r_2/r_1).$$

6.9.4. Relación con variables

- Variable 1: Nivel de ruido.
- Variable 2: Tipo de barrera verde.
- Variable 3: Distancia de medición.

6.9.5. Síntesis

El marco teórico concluye que las barreras vegetales pueden reducir el ruido ambiental; las mediciones deben ser realizadas con equipos Clase 1 siguiendo ISO 1996.

Marco teórico

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó el marco teórico como la base conceptual que sustenta una investigación, siendo el conjunto de ideas, teorías, modelos, ecuaciones, conceptos y antecedentes que explican el fenómeno estudiado. Se estableció que el marco teórico responde a la pregunta: "¿Qué necesito saber para entender mi problema de ingeniería?" y que en ingeniería significa comprender cómo funciona el sistema que se va a evaluar, modelar o mejorar. Se presentaron las seis funciones esenciales del marco teórico: (1) Sustentar el problema y objetivos demostrando que el fenómeno es real y medible. (2) Definir conceptos clave evitando ambigüedad. (3) Seleccionar modelos y ecuaciones mediante leyes físicas y principios científicos. (4) Construir hipótesis y variables determinando qué, cómo y por qué medir. (5) Evitar repetir estudios mediante revisión del estado del arte. (6) Aportar rigor científico dando credibilidad al trabajo. Se clasificaron las fuentes de información en primarias (artículos científicos, tesis, patentes, normas técnicas), secundarias (revisiones, libros, informes) y terciarias (enciclopedias, diccionarios, bases de datos), enfatizando que siempre debe priorizarse fuentes primarias en ingeniería. Se enseñó cómo realizar búsquedas efectivas en bases de datos especializadas (Google Scholar, Scielo, IEEE Xplore, ScienceDirect, PubMed) usando operadores booleanos, palabras clave y filtros, siguiendo una estrategia de 5 pasos. Se explicó cómo elaborar antecedentes presentando 6 elementos: autor(es), año, qué hicieron, cómo lo hicieron, qué encontraron, y qué aporta al estudio. Se detalló cómo construir una base teórica con conceptos fundamentales, modelos matemáticos, principios y leyes, y diagramas técnicos. Se presentaron modelos, leyes y ecuaciones específicas para cada rama de ingeniería (química, ambiental, civil, mecánica, eléctrica, sistemas). Se enseñó el sistema de citación APA incluyendo citas textuales cortas, citas parafraseadas y referencias básicas. Finalmente, se presentó un ejemplo completo de marco teórico integrando antecedentes, base conceptual, modelos y ecuaciones, relación con variables y síntesis.

🔑 Conceptos clave

- **Marco teórico:** Base conceptual que sustenta una investigación, constituida por el conjunto de ideas, teorías, modelos, ecuaciones, conceptos y antecedentes que explican el fenómeno estudiado.
- **Revisión documental:** Proceso sistemático de búsqueda, análisis y síntesis de literatura científica relevante que permite fundamentar teóricamente el problema y guiar la definición de variables y métodos.
- **Seis funciones del marco teórico:** Propósitos esenciales: sustentar problema y objetivos, definir conceptos clave, seleccionar modelos y ecuaciones, construir hipótesis y variables, evitar repetir estudios, aportar rigor científico.
- **Estado del arte:** Revisión exhaustiva del conocimiento científico actual sobre un tema específico, revelando qué se conoce y qué falta por investigar en el campo de estudio.
- **Fuentes primarias:** Documentos originales que contienen investigación de primera mano: artículos científicos, tesis de posgrado, patentes, normas técnicas (ISO, ASTM, NTP, IEEE Standards).
- **Fuentes secundarias:** Documentos que analizan o resumen información de fuentes primarias: revisiones sistemáticas, libros, capítulos de libro, informes técnicos.
- **Fuentes terciarias:** Recursos que organizan y clasifican información de fuentes primarias y secundarias: enciclopedias, diccionarios, bases de datos como Google Scholar y Scopus.
- **Operadores booleanos:** Conectores lógicos utilizados en búsquedas científicas (AND, OR, NOT) que permiten combinar o excluir términos para refinar resultados de búsqueda.
- **Palabras clave (keywords):** Términos específicos que representan los conceptos centrales de la investigación y se utilizan para realizar búsquedas efectivas en bases de datos científicas.
- **Estrategia de búsqueda:** Método sistemático de 5 pasos: definir palabras clave, agregar sinónimos, usar operadores booleanos, filtrar por año/tipo/revista, revisar 10-20 artículos recientes.
- **Antecedentes de investigación:** Resúmenes de investigaciones previas relevantes que deben presentar: autor(es), año, qué hicieron, cómo lo hicieron, qué encontraron, qué aporta al estudio.
- **Base teórica:** Componente del marco teórico que contiene: conceptos fundamentales, modelos matemáticos, principios/leyes/teoremas, diagramas y definiciones técnicas que construyen el lenguaje del proyecto.
- **Modelos matemáticos:** Representaciones formales de fenómenos físicos mediante ecuaciones: Ley de Ohm, Balance de materia, Ecuación de Darcy, Modelo de Arrhenius, Ley del inverso del cuadrado, Ecuaciones de Navier-Stokes.
- **Citación APA:** Sistema de referenciación académica que incluye citas textuales cortas (menos de 40 palabras con página), citas parafraseadas (autor y año), y referencias completas (autor, año, título, editorial/revista).

- **Rigor científico:** Calidad metodológica de la investigación alcanzada al fundamentar el trabajo en conocimiento validado, modelos reconocidos y teorías establecidas por la comunidad científica.

💡 Ideas principales

1. El marco teórico es la base conceptual que sustenta una investigación, siendo el conjunto de ideas, teorías, modelos, ecuaciones, conceptos y antecedentes que explican el fenómeno estudiado.
2. En ingeniería, el marco teórico responde a la pregunta: "¿Qué necesito saber para entender mi problema de ingeniería?" y significa comprender cómo funciona el sistema que se va a evaluar, modelar o mejorar.
3. El marco teórico cumple seis funciones esenciales: (1) Sustentar el problema y objetivos. (2) Definir conceptos clave. (3) Seleccionar modelos y ecuaciones. (4) Construir hipótesis y variables. (5) Evitar repetir estudios. (6) Aportar rigor científico.
4. Sustentar el problema y objetivos permite demostrar que el fenómeno es real, medible y estudiado por otros autores, dando validez al planteamiento de la investigación.
5. Definir conceptos clave evita ambigüedad y asegura un lenguaje técnico claro y preciso que facilita la comprensión del estudio.
6. En ingeniería, la teoría se expresa mediante leyes físicas, ecuaciones, algoritmos o principios científicos que modelan matemáticamente el comportamiento de sistemas.
7. La teoría permite saber qué medir (variables relevantes), cómo medir (métodos e instrumentos apropiados), y por qué medir (justificación teórica de las mediciones).
8. La revisión del estado del arte revela qué se conoce y qué falta por investigar, evitando duplicar estudios ya realizados y identificando vacíos de conocimiento.
9. Las fuentes de información se clasifican en tres niveles: primarias (documentos originales), secundarias (análisis de primarias), terciarias (organización de información). En ingeniería siempre deben priorizarse fuentes primarias.
10. Las fuentes primarias en ingeniería incluyen: artículos científicos en IEEE/Scielo/ScienceDirect, tesis de posgrado, patentes, y normas técnicas ISO/ASTM/NTP/IEEE Standards, pues contienen datos técnicos, experimentales y modelos matemáticos actualizados.
11. Los ingenieros deben dominar búsquedas efectivas en bases de datos especializadas: Google Scholar (general), Scielo (Latinoamérica), IEEE Xplore (eléctrica, sistemas, IA), ScienceDirect (ambiental, mecánica, química), PubMed (salud ocupacional).
12. La estrategia de búsqueda efectiva sigue 5 pasos: (1) Definir palabras clave. (2) Agregar sinónimos. (3) Usar operadores booleanos (AND, OR, NOT). (4) Filtrar por año/tipo/revista. (5) Revisar 10-20 artículos recientes.

13. Los antecedentes deben resumir investigaciones previas presentando 6 elementos estructurados: autor(es), año, qué hicieron, cómo lo hicieron, qué encontraron, qué aporta a tu estudio.
14. La base teórica debe contener: (1) Conceptos fundamentales que definen el sistema estudiado. (2) Modelos matemáticos con ecuaciones típicas del campo. (3) Principios, leyes o teoremas aplicables. (4) Diagramas, esquemas y definiciones técnicas.
15. Cada rama de ingeniería tiene modelos específicos: Química (balance de masa, Ley de Henry, cinética); Ambiental (normas de calidad, modelos gaussianos, DBO); Civil (ecuación de Manning, Ley de Hooke); Mecánica (leyes termodinámicas); Eléctrica (leyes de Maxwell, circuitos RLC); Sistemas (modelos estadísticos, redes neuronales).
16. El sistema de citación APA requiere: Citas textuales cortas con comillas y página (menos de 40 palabras); Citas parafraseadas con autor y año; Referencias completas con formato específico para artículos (incluye DOI), libros y otros documentos.
17. Un marco teórico completo integra: Antecedentes (4-6 estudios recientes); Base conceptual (definiciones clave); Modelos y ecuaciones (con numeración y citas); Relación con variables (conexión explícita); y Síntesis (conclusión que orienta el estudio).
18. Cada ecuación debe citarse según su origen, manteniendo rigor científico y dando crédito a los autores o fuentes originales de los modelos matemáticos utilizados.
19. El marco teórico construye el "lenguaje" del proyecto, estableciendo un vocabulario técnico común que permite comunicar la investigación de manera precisa y profesional.

⚡ Para recordar

- ✓ **Marco Teórico** = Base conceptual (ideas + teorías + modelos + ecuaciones + conceptos + antecedentes).
- ✓ **Pregunta clave:** "¿Qué necesito saber para entender mi problema de ingeniería?"
- ✓ **6 Funciones esenciales:**
 - (1) Sustentar problema y objetivos → Demostrar que es real y medible.
 - (2) Definir conceptos clave → Evitar ambigüedad, lenguaje claro.
 - (3) Seleccionar modelos y ecuaciones → Leyes físicas, principios científicos.
 - (4) Construir hipótesis y variables → Qué, cómo y por qué medir.
 - (5) Evitar repetir estudios → Estado del arte, vacíos de conocimiento.
 - (6) Aportar rigor científico → Credibilidad, conocimiento validado.

✓ **Fuentes de información:**

- Primarias (¡Prioritarias!): Artículos científicos, Tesis posgrado, Patentes, Normas (ISO/ASTM/IEEE).
- Secundarias: Revisiones sistemáticas, Libros, Informes técnicos.
- Terciarias: Enciclopedias, Diccionarios, Bases de datos.

✓ **Bases de datos especializadas:**

- Google Scholar (general, operadores avanzados).
- Scielo (Latinoamérica).
- IEEE Xplore (eléctrica, sistemas, IA, telecomunicaciones).
- ScienceDirect (ambiental, mecánica, química, materiales).
- PubMed (salud ocupacional, ergonomía, ruido).

✓ **Estrategia de búsqueda (5 pasos):**

- (1) Definir palabras clave → (2) Agregar sinónimos → (3) Usar operadores (AND, OR, NOT).
- (4) Filtrar (año, tipo, revista) → (5) Revisar 10-20 artículos recientes.

✓ **Antecedentes (6 elementos):**

Autor(es) + Año + Qué hicieron + Cómo lo hicieron + Qué encontraron + Qué aporta a tu estudio.

✓ **Base teórica contiene:**

- Conceptos fundamentales (definiciones).
- Modelos matemáticos (ecuaciones con citas).
- Principios, leyes, teoremas.
- Diagramas y definiciones técnicas.

✓ **Modelos por rama:**

Química: Balance masa, Ley Henry, Cinética | Ambiental: Normas, Gaussianos, DBO.
Civil: Manning, Hooke | Mecánica: Termodinámica | Eléctrica: Maxwell, RLC
Sistemas: Estadísticos, Redes neuronales.

✓ **Citación APA:**

- Textual corta: "texto" (Autor, año, p. X).
- Parfraseada: Según Autor (año), ...
- Referencia: Autor. (Año). Título. Revista/Editorial. DOI.

✓ **Marco teórico completo integra:**

Antecedentes + Base conceptual + Modelos/ecuaciones + Relación con variables + Síntesis.

✓ ¡Cada ecuación debe citarse según su origen! → Rigor científico.

■ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te guiarán en la construcción de tu marco teórico completo. Realizarás búsquedas científicas, analizarás antecedentes, definirás conceptos, identificarás modelos matemáticos y aprenderás a citar correctamente en formato APA.

Ejercicio 1: Búsqueda científica efectiva: Realiza una búsqueda sistemática sobre tu tema de investigación siguiendo la estrategia de 5 pasos: (a) Define 5-7 palabras clave principales en español e inglés relacionadas con tu tema. (b) Lista 3 sinónimos para cada palabra clave principal. (c) Construye 3 búsquedas usando operadores booleanos (AND, OR, NOT) combinando tus palabras clave. (d) Aplica filtros: artículos de los últimos 5 años, revistas indexadas. (e) Selecciona y lista 10-15 artículos científicos relevantes con título completo y año.

Ejercicio 2: Elaboración de antecedentes: De los artículos que encuentres, selecciona los 5 más relevantes y elabora un antecedente completo para cada uno siguiendo la estructura de 6 elementos: (1) Autor(es) - escribe apellidos y año. (2) Qué hicieron - objetivo del estudio. (3) Cómo lo hicieron - metodología resumida. (4) Qué encontraron - resultados principales. (5) Qué aporta a tu estudio - relevancia específica. Redacta cada antecedente en un párrafo de 4-6 líneas, como en los ejemplos del capítulo.

Ejercicio 3: Definición de conceptos fundamentales: Identifica y define los 8-10 conceptos más importantes de tu investigación. Para cada concepto incluye: (a) Término técnico exacto. (b) Definición conceptual clara (3-4 líneas). (c) Autor que sustenta la definición (con año). (d) Unidades de medida si aplica. (e) Relación con tu estudio. Organiza los conceptos de lo general a lo específico.

Ejercicio 4: Identificación de modelos matemáticos: Identifica los modelos matemáticos, leyes, ecuaciones o principios que aplican a tu investigación: (a) Lista al menos 3 ecuaciones fundamentales que describen el fenómeno que estudias. (b) Para cada ecuación escribe: nombre, fórmula, variables que incluye, unidades. (c) Indica el autor original o la norma técnica de donde proviene cada modelo. (d) Explica cómo se relaciona cada modelo con tus variables de estudio.

Ejercicio 5: Clasificación de fuentes: Revisa las fuentes que has recopilado hasta ahora (artículos, libros, normas, páginas web) y clasificalas en: (a) Primarias: lista títulos de artículos científicos, tesis, patentes y normas técnicas. (b) Secundarias: lista libros, capítulos y revisiones. (c) Terciarias: lista bases de datos consultadas. Verifica que al menos el 70% de tus fuentes sean primarias. Si no es así, realiza búsquedas adicionales.

Ejercicio 6: Práctica de citación APA: Practica los tres tipos de citas con fuentes reales de tu marco teórico: (a) Escribe 2 citas textuales cortas (menos de 40 palabras) de artículos relevantes, incluye comillas, autor, año y página. (b) Escribe 3 citas parafraseadas de diferentes autores. (c) Elabora la lista de referencias completas en formato APA para los 5 artículos científicos más importantes que usarás, incluyendo DOI cuando esté disponible.

Ejercicio 7: Análisis comparativo de bases de datos: Realiza la misma búsqueda (usando tus palabras clave) en tres bases de datos diferentes: Google Scholar, Scielo y una específica de tu rama (IEEE Xplore, ScienceDirect o PubMed). Compara: (a) ¿Cuántos resultados relevantes obtuviste en cada una? (b) ¿Qué base de datos tiene artículos más recientes? (c) ¿Cuál proporciona información más técnica y especializada? (d) ¿Cuál usarás principalmente y por qué?

Ejercicio 8: Verificación de las 6 funciones: Verifica que tu marco teórico (en construcción) cumpla las 6 funciones esenciales: (1) ¿Sustenta tu problema demostrando que es real y medible? ¿Cómo? (2) ¿Define claramente tus conceptos clave? Lista los principales. (3) ¿Incluye modelos y ecuaciones relevantes? ¿Cuáles? (4) ¿Te permite construir hipótesis y operacionalizar variables? Explica. (5) ¿Revela qué se conoce y qué falta investigar? (6) ¿Aporta rigor citando fuentes confiables?

Ejercicio 9: Estructura de marco teórico completo: Diseña la estructura completa de tu marco teórico organizando: (a) Título del capítulo: "Marco Teórico". (b) Sección 1: Antecedentes (lista los 5 que elaboraste). (c) Sección 2: Bases teóricas (agrupa conceptos por temas). (d) Sección 3: Modelos matemáticos (ecuaciones identificadas). (e) Sección 4: Variables del estudio (independiente, dependiente, control). (f) Sección 5: Síntesis. Crea un índice numerado de tu marco teórico.

→ **Siguiente paso**

¡Felicitaciones! Has construido la base teórica sólida que sustenta científicamente tu investigación. Con el marco teórico completo, ahora comprendes el fenómeno que estudias desde la perspectiva de la ciencia y la teoría establecida. El siguiente paso es formular las proposiciones que guiarán tu experimentación y análisis.

En el Capítulo 7 - "Hipótesis, Variables y Matriz de Consistencia", aprenderás a construir los elementos que conectan la teoría con la práctica experimental. Una hipótesis es una proposición o explicación tentativa que describe la relación entre dos o más variables, permitiendo anticipar el comportamiento de un sistema, proceso o fenómeno.

Conocerás los diferentes tipos de hipótesis: de investigación (H_i - relaciones esperadas), nulas (H_0 - inexistencia de relación), alternativas (H_a - dirección contraria), estadísticas (formuladas matemáticamente para contraste), descriptivas (caracterizan propiedades), correlacionales (asociación entre variables), y causales (relación causa-efecto).

Aprenderás en profundidad sobre variables, que son características, propiedades o condiciones que pueden cambiar y adquirir diferentes valores en el fenómeno estudiado. Conocerás los tipos de variables para ingenieros: físicas (presión, velocidad, energía), químicas (concentración, pH, entalpía), operativas (flujo, tiempo de mezclado, RPM), ambientales (ruido, calidad de agua, emisiones), mecánicas (esfuerzo, deformación, fatiga), eléctricas/electrónicas (voltaje, corriente, frecuencia), y la clasificación fundamental: independientes (causa que se manipula) y dependientes (efecto que se mide).

Dominarás la operacionalización de variables, proceso que consiste en traducir variables abstractas en indicadores medibles y verificables. Cada variable debe contener: definición conceptual (explicación teórica), definición operacional (cómo se mide), indicadores (parámetros específicos), instrumentos (herramientas de medición), y escala de medición (nominal, ordinal, intervalo, razón).

Finalmente, aprenderás a construir la matriz de consistencia (matriz lógica), herramienta que alinea todos los elementos del estudio en un solo cuadro: problema general y específicos, objetivo general y específicos, hipótesis general y específicas, variables (independiente y dependiente), operacionalización, metodología, y técnicas e instrumentos. Esta matriz garantiza la coherencia total de tu investigación.

El capítulo incluye plantillas listas para usar, ejemplos de tablas de operacionalización completas, y ejemplos de matrices de consistencia en diferentes ramas de ingeniería.

Prepárate para conectar todos los elementos de tu investigación en un sistema coherente y lógico. La matriz de consistencia es la herramienta que asegura que cada parte de tu estudio esté perfectamente alineada con las demás, desde el problema inicial hasta los instrumentos de medición.



***¡Excelente trabajo completando el Capítulo 6!
Has construido una base teórica sólida que sustenta científicamente tu investigación.
Ahora es momento de formular hipótesis, operacionalizar variables y crear tu matriz
de consistencia.***

Capítulo 7

**Hipótesis,
variables y matriz
de consistencia**

Hipótesis, variables y matriz de consistencia

7.1. ¿Qué es una hipótesis?

Una hipótesis es una proposición o explicación tentativa que describe la relación entre dos o más variables dentro de una investigación científica (Kerlinger y Lee, 2002). En ingeniería, la hipótesis permite anticipar el comportamiento de un sistema, proceso o fenómeno, y constituye una guía experimental que orienta la búsqueda de evidencias.

Su función principal es **proponer una respuesta provisional al problema**, susceptible de ser verificada mediante métodos cuantitativos o cualitativos (Hernández et al., 2022).

Ejemplos típicos en ingeniería incluyen:

- “El incremento del caudal de aire mejora la eficiencia térmica del intercooler”.
- “La incorporación de fibras naturales aumenta la resistencia a la compresión del concreto”.

Una hipótesis **no es una suposición vaga**, sino un planteamiento con base conceptual, sustentado en la teoría o en el comportamiento esperado del sistema (Blessing y Chakrabarti, 2009).

7.2. Tipos de hipótesis

a) Hipótesis de investigación (H_i)

Establecen relaciones esperadas entre variables.

Ejemplo:

H_i: El uso de algoritmos de optimización mejora la eficiencia energética en redes inteligentes.

b) Hipótesis nulas (H₀)

Postulan la inexistencia de relación.

Ejemplo:

H₀: El uso de algoritmos de optimización NO mejora la eficiencia energética.

c) Hipótesis alternativas (H_a)

Expresan dirección contraria a la hipótesis de investigación.

Ejemplo:

H_a: El uso de algoritmos de optimización disminuye la eficiencia energética.

d) Hipótesis estadísticas

Formuladas en términos matemáticos para contraste de pruebas (p-value).

Ejemplo:

H₀: $\mu_1 = \mu_2$; H₁: $\mu_1 > \mu_2$.

e) Hipótesis descriptivas

Caracterizan propiedades o parámetros de una población sin relacionar variables.

Ejemplo:

La temperatura promedio de operación del reactor es mayor a 80°C.

f) Hipótesis correlacionales

Determinan si dos variables se asocian.

Ejemplo:

A mayor contenido de humedad, menor resistencia mecánica del suelo.

g) Hipótesis causales

Identifican una relación de causa-efecto.

Ejemplo:

El aumento de la presión del sistema causa mayor eficiencia en la combustión.

7.3. ¿Qué es una variable?

Una **variable** es toda característica, propiedad o condición que puede cambiar y adquirir diferentes valores en un fenómeno estudiado (Montgomery, 2017). En ingeniería, las variables permiten medir parámetros físicos, químicos, operativos o ambientales.

Figura 7

Tipo de variables de investigación en ingeniería.



Ejemplos:

- Temperatura (°C).
- pH.
- Caudal (L/s).
- Concentración de CO₂ (ppm).
- Tensión (V).
- Tiempo de residencia (s).

Las variables son esenciales para formular hipótesis, diseñar experimentos y validar modelos matemáticos o simulaciones.

7.4. Tipos de variables para ingenieros

a) Variables físicas

Relacionadas con magnitudes naturales.

Ejemplo: presión, velocidad, energía, densidad.

b) Variables químicas

Propiedades de sustancias o reacciones.

Ejemplo: Concentración, acidez, entalpía de reacción.

c) Variables operativas

Propias de un proceso industrial o de control.

Ejemplo: Flujo de aire, tiempo de mezclado, RPM.

d) Variables ambientales

Condiciones externas que afectan sistemas.

Ejemplo: Ruido, calidad de agua, emisiones, temperatura ambiental.

e) Variables mecánicas

Relacionadas a cargas, deformaciones o propiedades de materiales.

Ejemplo: Módulo de elasticidad, esfuerzo, fatiga.

f) Variables eléctricas / electrónicas

Voltaje, corriente, frecuencia, ganancia de señal.

g) Variables dependientes e independientes

- **Independiente:** se manipula (causa).
- **Dependiente:** se mide o afecta (efecto).

Ejemplo en un proceso térmico:

- Independiente: flujo de vapor.
- Dependiente: eficiencia del intercambiador.

7.5. Operacionalización de variables

La **operacionalización** consiste en traducir variables abstractas en indicadores medibles y verificables (Hernández et al., 2022).

Cada variable debe contener:

1. **Definición conceptual:** Explicación teórica.
2. **Definición operacional:** Cómo se mide.
3. **Indicadores:** Parámetros específicos.
4. **Instrumentos:** Herramientas de medición.
5. **Escala de medición:** Nominal, ordinal, intervalo, razón.

Tabla 2

Ejemplo de tabla de operacionalización.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Instrumento	Escala
Eficiencia térmica	Relación entre calor útil y calor suministrado.	% de eficiencia obtenida en pruebas.	η (%)	Termopares y caudalímetro.	Razón.
Caudal de aire	Volumen de aire por unidad de tiempo.	L/s medidos en conducto.	Flujo (L/s)	Anemómetro.	Razón.

7.6. Construcción de la matriz de consistencia

La **matriz de consistencia** (llamada también matriz lógica) alinea todos los elementos del estudio: problema, objetivos, hipótesis, variables y metodología (Hernández et al., 2022).

Figura 8

Esquema de matriz de consistencia.



Componentes:

1. Problema general y específicos.
2. Objetivo general y específicos.
3. Hipótesis general y específicas.
4. Variables (independiente y dependiente).

5. Operacionalización.
6. Metodología.
7. Técnicas e instrumentos.

Tabla 3

Ejemplo de matriz de consistencia.

Elemento	Formulación
Problema	¿Cómo influye el nivel de ruido vehicular en la presión arterial de los residentes?
Objetivo general	Determinar la influencia del ruido vehicular en la presión arterial.
Hipótesis general	El ruido vehicular influye significativamente en la presión arterial.
Variable independiente	Ruido (dB).
Variable dependiente	Presión arterial (mmHg).
Diseño	Correlacional, transversal.
Técnicas	Medición instrumental.
Instrumentos	Sonómetro, tensiómetro digital.

7.7. Plantilla lista para usar

Plantilla de hipótesis

Hi:

Ho:

H_a:

Plantilla de operacionalización

Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala
----------	-----------	-----------	-------------	--------

Plantilla de matriz de consistencia

| Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Metodología | Técnicas | Instrumentos |

7.8. Ejemplos completos

Ejemplo 1: Ingeniería Química.

Tema: Optimización del rendimiento en biodiésel.

Hipótesis: “El aumento de la temperatura de transesterificación incrementa el rendimiento de biodiésel”.

Variables:

- Independiente: temperatura (°C).
- Dependiente: rendimiento (%).
- **Método:** experimental, diseño factorial.

Ejemplo 2: Ingeniería Ambiental.

Tema: Barreras verdes y reducción del ruido.

Hipótesis: “La instalación de barreras vegetales reduce significativamente el nivel de ruido en avenidas urbanas”.

Variables:

- Independiente: tipo de barrera verde.
- Dependiente: reducción de ruido (dB).

Ejemplo 3: Ingeniería de Sistemas.

Tema: Optimización de redes.

Hipótesis: “El uso de redes neuronales mejora la precisión en la detección de fallas”.

Hipótesis, variables y matriz de consistencia

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó tres elementos fundamentales que conectan la teoría con la práctica experimental. Primero, se definió la hipótesis como una proposición o explicación tentativa que describe la relación entre dos o más variables dentro de una investigación científica, permitiendo anticipar el comportamiento de un sistema, proceso o fenómeno, y constituyendo una guía experimental que orienta la búsqueda de evidencias. Se enfatizó que una hipótesis no es una suposición vaga, sino un planteamiento con base conceptual sustentado en la teoría. Se presentaron siete tipos de hipótesis: (1) de investigación (H_i) que establecen relaciones esperadas; (2) nulas (H_0) que postulan inexistencia de relación; (3) alternativas (H_a) que expresan dirección contraria; (4) estadísticas formuladas matemáticamente para contraste de pruebas; (5) descriptivas que caracterizan propiedades sin relacionar variables; (6) correlacionales que determinan asociación entre variables; y (7) causales que identifican relaciones causa-efecto. Segundo, se definió la variable como toda característica, propiedad o condición que puede cambiar y adquirir diferentes valores en un fenómeno estudiado, siendo esencial para formular hipótesis, diseñar experimentos y validar modelos. Se presentaron siete clasificaciones: físicas (presión, velocidad, energía), químicas (concentración, pH, entalpía); operativas (flujo de aire, tiempo de mezclado, RPM); ambientales (ruido, calidad de agua, emisiones); mecánicas (módulo de elasticidad, esfuerzo, fatiga); eléctricas/electrónicas (voltaje, corriente, frecuencia); y la distinción fundamental entre independientes (se manipulan, causa) y dependientes (se miden, efecto). Tercero, se explicó la operacionalización de variables como el proceso de traducir variables abstractas en indicadores medibles y verificables, requiriendo cinco componentes: definición conceptual,

definición operacional, indicadores, instrumentos y escala de medición (nominal, ordinal, intervalo, razón). Finalmente, se presentó la matriz de consistencia como la herramienta que alinea todos los elementos del estudio en siete componentes: problema general y específicos, objetivo general y específicos, hipótesis general y específicas, variables independiente y dependiente, operacionalización, metodología, y técnicas e instrumentos. Se proporcionaron plantillas listas para usar y tres ejemplos completos en ingeniería química, ambiental y de sistemas, demostrando la aplicación integrada de hipótesis, variables y matriz de consistencia.

🔑 Conceptos clave

- **Hipótesis:** Proposición o explicación tentativa que describe la relación entre dos o más variables dentro de una investigación científica, permitiendo anticipar el comportamiento de un sistema, proceso o fenómeno.
- **Guía experimental:** Función de la hipótesis como orientadora de la búsqueda de evidencias, proporcionando dirección al diseño metodológico y a la recolección de datos.
- **Respuesta provisional:** Naturaleza tentativa de la hipótesis, susceptible de ser verificada, refutada o modificada mediante métodos cuantitativos o cualitativos durante el proceso investigativo.
- **Hipótesis de investigación (H_i):** Proposiciones que establecen las relaciones esperadas entre variables, anticipando el resultado del estudio basándose en la teoría o experiencia previa.
- **Hipótesis nula (H₀):** Proposiciones que postulan la inexistencia de relación o diferencia significativa entre variables, sirviendo como base para pruebas estadísticas de contraste.
- **Hipótesis alternativa (H_a):** Proposiciones que expresan dirección contraria o diferente a la hipótesis de investigación, ofreciendo explicaciones alternativas del fenómeno.
- **Hipótesis estadística:** Formulación matemática de hipótesis para contraste de pruebas mediante p-value, expresando relaciones entre parámetros poblacionales como medias (μ) o proporciones.
- **Hipótesis descriptiva:** Proposiciones que caracterizan propiedades o parámetros de una población sin establecer relaciones entre variables, usadas en estudios de caracterización.
- **Hipótesis correlacional:** Proposiciones que determinan si dos o más variables se asocian o covarían, sin implicar necesariamente causalidad entre ellas.
- **Hipótesis causal:** Proposiciones que identifican una relación de causa-efecto entre variables, donde cambios en la variable independiente producen cambios en la dependiente.
- **Variable:** Característica, propiedad o condición que puede cambiar y adquirir diferentes valores en un fenómeno estudiado, siendo esencial para formular hipótesis, diseñar experimentos y validar modelos.

- **VARIABLES FÍSICAS:** Magnitudes naturales relacionadas con propiedades medibles: presión, velocidad, energía, densidad, temperatura, fuerza, aceleración.
- **VARIABLES QUÍMICAS:** Propiedades de sustancias o reacciones: concentración, acidez (pH), entalpía de reacción, conductividad, punto de ebullición.
- **VARIABLES OPERATIVAS:** Parámetros propios de procesos industriales o de control: flujo de aire, tiempo de mezclado, RPM, presión de operación, caudal de entrada.
- **VARIABLES AMBIENTALES:** Condiciones externas que afectan sistemas: ruido, calidad de agua, emisiones de gases, temperatura ambiental, humedad relativa.
- **VARIABLES MECÁNICAS:** Parámetros relacionados con cargas, deformaciones o propiedades de materiales: módulo de elasticidad, esfuerzo, fatiga, resistencia, tenacidad.
- **VARIABLES ELÉCTRICAS/ELECTRÓNICAS:** Magnitudes del campo eléctrico y electrónico: voltaje, corriente, frecuencia, ganancia de señal, impedancia, potencia.
- **VARIABLE INDEPENDIENTE:** Variable que se manipula o controla intencionalmente en el estudio, actuando como causa o factor predictor del fenómeno (eje X en gráficos).
- **VARIABLE DEPENDIENTE:** Variable que se mide o afecta como consecuencia de los cambios en la variable independiente, representando el efecto o respuesta del sistema (eje Y en gráficos).
- **OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:** Proceso sistemático de traducir variables abstractas en indicadores medibles y verificables, especificando cómo se cuantificará cada variable en la práctica.
- **DEFINICIÓN CONCEPTUAL:** Explicación teórica de la variable basada en literatura científica, estableciendo qué significa el constructo desde el punto de vista académico.
- **DEFINICIÓN OPERACIONAL:** Especificación práctica de cómo se medirá la variable en el estudio concreto, incluyendo procedimientos, condiciones y unidades de medición.
- **INDICADORES:** Parámetros específicos y cuantificables que representan la variable, permitiendo su medición objetiva (ej: η (%) para eficiencia, dB(A) para ruido).
- **INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN:** Herramientas, equipos o dispositivos utilizados para cuantificar las variables: sonómetros, termopares, pH-metros, caudalímetros, anemómetros, multímetros.
- **ESCALAS DE MEDICIÓN:** Niveles de medición de variables: nominal (categorías sin orden), ordinal (categorías ordenadas), intervalo (distancias iguales sin cero absoluto), razón (distancias iguales con cero absoluto).
- **MATRIZ DE CONSISTENCIA:** Herramienta metodológica (matriz lógica) que alinea todos los elementos del estudio en una tabla sistemática, garantizando coherencia entre problema, objetivos, hipótesis, variables y metodología.
- **SIETE COMPONENTES DE LA MATRIZ:** Elementos que componen la matriz de consistencia: (1) Problema general y específicos. (2) Objetivo general y

específicos. (3) Hipótesis general y específicas. (4) Variables independiente y dependiente. (5) Operacionalización. (6) Metodología; (7) Técnicas e instrumentos.

💡 Ideas principales

1. Una hipótesis es una proposición o explicación tentativa que describe la relación entre dos o más variables, permitiendo anticipar el comportamiento de un sistema, proceso o fenómeno en ingeniería.
2. La hipótesis constituye una guía experimental que orienta la búsqueda de evidencias, y su función principal es proponer una respuesta provisional al problema, susceptible de ser verificada mediante métodos cuantitativos o cualitativos.
3. Una hipótesis NO es una suposición vaga, sino un planteamiento con base conceptual, sustentado en la teoría o en el comportamiento esperado del sistema según principios científicos establecidos.
4. Existen siete tipos de hipótesis: (1) de investigación (H_i) - establecen relaciones esperadas; (2) nulas (H_0) - postulan inexistencia de relación; (3) alternativas (H_a) - expresan dirección contraria; (4) estadísticas - formuladas matemáticamente; (5) descriptivas - caracterizan propiedades; (6) correlacionales - determinan asociación; (7) causales - identifican causa-efecto.
5. Las hipótesis de investigación (H_i) establecen relaciones esperadas entre variables basándose en la teoría o experiencia previa. Ejemplo: "El incremento del caudal de aire mejora la eficiencia térmica del intercooler".
6. Las hipótesis nulas (H_0) postulan la inexistencia de relación o diferencia significativa, sirviendo como base para pruebas estadísticas de contraste. Ejemplo: "El uso de algoritmos de optimización NO mejora la eficiencia energética".
7. Las hipótesis causales son fundamentales en ingeniería porque identifican relaciones de causa-efecto, permitiendo predecir cómo cambios en una variable (causa) producirán cambios en otra (efecto).
8. Una variable es toda característica, propiedad o condición que puede cambiar y adquirir diferentes valores en un fenómeno estudiado, siendo esencial para formular hipótesis, diseñar experimentos y validar modelos matemáticos o simulaciones.
9. Las variables se clasifican en siete tipos para ingenieros: Físicas (presión, velocidad, energía). Químicas (concentración, pH, entalpía). Operativas (flujo, tiempo de mezclado, RPM). Ambientales (ruido, calidad de agua, emisiones). Mecánicas (módulo de elasticidad, esfuerzo). Eléctricas/electrónicas (voltaje, corriente, frecuencia).
10. La distinción fundamental entre variables es: independientes (se manipulan o controlan, representan la causa) y dependientes (se miden o afectan, representan el efecto). Esta clasificación es crítica para el diseño experimental.

11. En procesos experimentales, la variable independiente se coloca típicamente en el eje X de gráficos y la dependiente en el eje Y, siguiendo la convención científica de causa (X) → efecto (Y).
12. La operacionalización consiste en traducir variables abstractas en indicadores medibles y verificables, haciendo posible cuantificar conceptos teóricos mediante procedimientos prácticos de medición.
13. Cada variable operacionalizada debe contener cinco componentes obligatorios: (1) Definición conceptual (explicación teórica). (2) Definición operacional (cómo se mide). (3) Indicadores (parámetros específicos). (4) Instrumentos (herramientas de medición). (5) Escala de medición (nominal, ordinal, intervalo, razón).
14. Las escalas de medición determinan el tipo de análisis estadístico posible: Nominal (categorías). Ordinal (categorías ordenadas). Intervalo (distancias iguales sin cero absoluto como temperatura °C). Razón (distancias iguales con cero absoluto como presión, flujo).
15. Los instrumentos de medición deben ser apropiados para cada variable: sonómetros para ruido, termopares para temperatura, pH-metros para acidez, caudalímetros para flujo, anemómetros para velocidad de aire, multímetros para variables eléctricas.
16. La matriz de consistencia (matriz lógica) es la herramienta que alinea todos los elementos del estudio en una tabla sistemática, garantizando coherencia total entre problema, objetivos, hipótesis, variables y metodología.
17. Los siete componentes de la matriz de consistencia son: (1) Problema general y específicos. (2) Objetivo general y específicos. (3) Hipótesis general y específicas. (4) Variables independiente y dependiente. (5) Operacionalización completa. (6) Metodología (diseño del estudio). (7) Técnicas e instrumentos de recolección de datos.
18. La matriz de consistencia permite visualizar en una sola página si todos los elementos de la investigación están perfectamente alineados, facilitando la detección de inconsistencias antes de iniciar la fase experimental.
19. Cada rama de ingeniería adapta estos elementos a su contexto: Química (temperatura de transesterificación → rendimiento de biodiésel). Ambiental (tipo de barrera verde → reducción de ruido). Sistemas (uso de redes neuronales → precisión en detección de fallas).
20. Una investigación bien estructurada muestra coherencia vertical en la matriz: el problema plantea una interrogante, los objetivos indican qué se medirá, la hipótesis propone la respuesta esperada, las variables especifican qué se manipulará y medirá, y la metodología define cómo se hará todo esto.

↪ Para recordar

✓ **Hipótesis** = Proposición tentativa que describe relación entre variables.

✓ **NO es suposición vaga** → Tiene base conceptual sustentada en teoría.

✓ **Función:** Guía experimental + Respuesta provisional (verificable).

✓ 7 Tipos de Hipótesis:

(1) Investigación (H_i): Relaciones esperadas | "X mejora Y".

(2) Nula (H_0): Inexistencia de relación | "X NO afecta Y".

(3) Alternativa (H_a): Dirección contraria | "X disminuye Y".

(4) Estadística: Formulación matemática | $H_0: \mu_1 = \mu_2$; $H_1: \mu_1 > \mu_2$.

(5) Descriptiva: Caracteriza sin relacionar | "Temperatura $> 80^\circ\text{C}$ ".

(6) Correlacional: Asociación | "A mayor X, menor Y".

(7) Causal: Causa-efecto | "X causa Y".

✓ **Variable** = Característica que puede cambiar y adquirir valores diferentes.

✓ **Esencial para:** Formular hipótesis + Diseñar experimentos + Validar modelos.

✓ 7 tipos de variables:

→ Físicas: presión, velocidad, energía, densidad.

→ Químicas: concentración, pH, entalpía.

→ Operativas: flujo de aire, tiempo de mezclado, RPM.

→ Ambientales: ruido, calidad agua, emisiones.

→ Mecánicas: módulo elasticidad, esfuerzo, fatiga.

→ Eléctricas/Electrónicas: voltaje, corriente, frecuencia.

→ Independiente vs Dependiente: Causa (X) vs Efecto (Y).

✓ **Variable Independiente** = Se manipula (CAUSA) → Eje X.

✓ **Variable Dependiente** = Se mide (EFECTO) → Eje Y.

✓ **Operacionalización** = Traducir variables abstractas en indicadores medibles.

✓ 5 componentes obligatorios:

(1) Definición Conceptual: Explicación teórica.

(2) Definición Operacional: Cómo se mide.

- (3) Indicadores: Parámetros específicos (η %, dB, L/s).
- (4) Instrumentos: Herramientas (sonómetro, termopar, pH-metro).
- (5) Escala: Nominal | Ordinal | Intervalo | Razón.

✓ **Escalas de medición:**

- Nominal: Categorías sin orden (colores, tipos).
- Ordinal: Categorías ordenadas (bajo-medio-alto).
- Intervalo: Distancias iguales, sin cero absoluto ($^{\circ}\text{C}$).
- Razón: Distancias iguales, con cero absoluto (presión, flujo).

✓ **Matriz de consistencia** = Alinea TODOS los elementos del estudio

✓ **7 componentes de la matriz:**

- (1) Problema general y específicos.
- (2) Objetivo general y específicos.
- (3) Hipótesis general y específicas.
- (4) Variables (independiente y dependiente).
- (5) Operacionalización completa.
- (6) Metodología (diseño).
- (7) Técnicas e instrumentos.

✓ **Coherencia vertical:** Problema → Objetivos → Hipótesis → Variables → Metodología.

✓ Todo debe estar perfectamente alineado en UNA sola página.

☛ **Aplica lo aprendido**

Estos ejercicios te guiarán en la formulación de hipótesis, operacionalización de variables y construcción de tu matriz de consistencia completa. Utilizarás todos los elementos que has desarrollado desde el Capítulo 1 hasta el Capítulo 6 para crear un sistema coherente e integrado.

Ejercicio 1: Formulación de hipótesis de investigación (Hi): Basándote en tu problema, objetivos y marco teórico, formula tu hipótesis de investigación principal. Debe: (a) Establecer claramente la relación esperada entre tus variables independiente y dependiente. (b) Estar sustentada en la teoría que revisaste en tu marco teórico. (c) Ser verificable mediante el método que planeas usar. (d) Usar

lenguaje preciso y técnico apropiado. Escribe tu H_i y explica brevemente en qué teoría o antecedente se fundamenta (3-4 líneas de justificación teórica).

Ejercicio 2: Formulación de hipótesis nula y alternativa: Con base en tu hipótesis de investigación (H_i), formula: (a) Tu hipótesis nula (H_0) que postule la inexistencia de relación o efecto. (b) Tu hipótesis alternativa (H_a) que exprese una dirección contraria o diferente. Si tu estudio requiere contraste estadístico, formula también. (c) Tus hipótesis estadísticas usando notación matemática (μ_1 , μ_2 , p-value esperado). Asegúrate de que las tres hipótesis sean coherentes entre sí.

Ejercicio 3: Identificación y clasificación de variables: Identifica todas las variables de tu estudio y clasifícalas: (a) Lista tu variable Independiente (causa que manipularás o evaluarás), especifica su tipo (física, química, operativa, ambiental, mecánica, eléctrica). (b) Lista tu variable Dependiente (efecto que medirás), especifica su tipo. (c) Si tienes variables de Control (que mantendrás constantes), lístalas. (d) Especifica las unidades de medida de cada variable.

Ejercicio 4: Operacionalización completa de variable independiente: Operacionaliza tu variable independiente completando los 5 componentes: (1) Definición conceptual: Explica teóricamente qué es la variable según tu marco teórico (3-4 líneas con cita de autor). (2) Definición operacional: Describe exactamente cómo la medirás o manipularás en tu estudio. (3) Indicadores: Especifica los parámetros cuantificables (símbolo y unidad). (4) Instrumento: Nombra el equipo/herramienta exacto que usarás. (5) Escala: Indica si es nominal, ordinal, intervalo o razón.

Ejercicio 5: Operacionalización completa de variable dependiente: Operacionaliza tu variable dependiente con los mismos 5 componentes: (1) Definición conceptual con sustento teórico. (2) Definición operacional específica de tu estudio. (3) Indicadores cuantificables. (4) Instrumento de medición específico (marca y

modelo si es posible). (5) Escala de medición. Asegúrate de que la forma de medir la variable dependiente sea apropiada para detectar los cambios que esperas según tu hipótesis.

Ejercicio 6: Creación de tabla de operacionalización: Diseña una tabla de operacionalización completa para tus variables siguiendo el formato del capítulo. Crea una tabla con 6 columnas: Variable | Definición Conceptual | Definición Operacional | Indicador | Instrumento | Escala. Incluye al menos 2 filas: una para tu variable independiente y otra para tu dependiente. Si tienes variables control, agrégalas también. La tabla debe ser clara, completa y profesional.

Ejercicio 7: Verificación de instrumentos de medición: Para cada instrumento que identificaste, verifica: (a) ¿Es el instrumento apropiado para medir la variable con la precisión que necesitas? (b) ¿El instrumento está calibrado o requiere calibración? (c) ¿Conoces el rango de medición y la resolución del instrumento? (d) ¿Tienes acceso al instrumento o necesitas conseguirlo? (e) ¿Existen normas técnicas (ISO, ASTM, IEEE) que especifiquen cómo usar este instrumento? Especifica normas si aplican.

Ejercicio 8: Construcción de matriz de consistencia completa: Construye tu matriz de consistencia integrando TODOS los elementos que has desarrollado. Crea una tabla con 7 columnas siguiendo el formato del capítulo: Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Metodología | Técnicas | Instrumentos. Completa cada columna: incluye problema general y 3-5 específicos, objetivo general y 3-5 específicos, hipótesis general y específicas correspondientes, variables independientes y dependientes operacionalizadas, tipo de diseño metodológico que usarás, técnicas de recolección, e instrumentos específicos.

Ejercicio 9: Verificación de coherencia vertical: Revisa tu matriz de consistencia y verifica la coherencia vertical: (a) ¿Cada objetivo específico ayuda a lograr el objetivo general? (b) ¿Cada hipótesis específica se deriva de la hipótesis general? (c) ¿Las variables en la columna de hipótesis coinciden exactamente con las de la columna de variables? (d) ¿La metodología que propones permite realmente medir tus variables y verificar tus hipótesis? (e) ¿Los instrumentos listados son suficientes para recolectar todos los datos necesarios? Identifica y corrige cualquier inconsistencia.

Ejercicio 10: Análisis comparativo con ejemplos: Revisa los 3 ejemplos completos del capítulo (ingeniería química, ambiental y sistemas). Compara tu matriz con el ejemplo más cercano a tu rama: (a) ¿Tu hipótesis tiene el mismo nivel de claridad y precisión? (b) ¿Tu operacionalización es tan completa como en el ejemplo? (c) ¿Tu matriz muestra la misma coherencia entre elementos? (d) ¿Qué aspectos de los ejemplos puedes incorporar para mejorar tu matriz? (e) ¿Qué hace diferente o único tu planteamiento comparado con los ejemplos?

→ Siguiente Paso

¡Felicitaciones! Has completado la formulación de tu investigación. Ahora tienes: problema planteado, objetivos claros, justificación sólida, marco teórico fundamentado, hipótesis formuladas, variables operacionalizadas y una matriz de consistencia que alinea todos estos elementos. Es momento de diseñar la estrategia metodológica para ejecutar tu investigación.

En el Capítulo 8 - "Enfoques y Tipos de Investigación", aprenderás a seleccionar el enfoque y tipo de estudio adecuados para tu problema. Estas decisiones influyen directamente en el diseño metodológico, la precisión de los resultados y la validez de las conclusiones.

Conocerás los tres enfoques de investigación. El **enfoque cuantitativo** se basa en medición numérica, análisis estadístico y búsqueda de relaciones entre variables, usando instrumentos estandarizados, controles experimentales y criterios de validez estadística. Es ampliamente usado en ingeniería porque permite modelar, predecir y optimizar procesos. El **enfoque cualitativo** busca comprender fenómenos complejos desde la percepción y experiencia de los actores, usando datos no numéricos como entrevistas y observaciones. El **enfoque mixto** combina datos cuantitativos

y cualitativos para mayor comprensión y potencia explicativa, siendo útil para problemas donde intervienen variables técnicas y humanas.

Aprenderás sobre los tipos de estudio según su profundidad. Los **estudios descriptivos** detallan características o propiedades sin establecer relaciones causales, siendo útiles para diagnósticos y estudios preliminares. Los **estudios correlacionales** analizan el grado de relación entre variables sin afirmar causalidad, usando coeficientes como r de Pearson o rho de Spearman, siendo esenciales para modelamiento predictivo. Los **estudios experimentales** prueban causa-efecto manipulando variables bajo condiciones controladas, con grupos control y experimental, permitiendo inferir causalidad. Los **estudios explicativos** buscan identificar las causas que originan fenómenos y construir modelos teóricos o matemáticos que los describan.

El capítulo te ayudará a: (1) Identificar qué enfoque es más apropiado para tu problema específico. (2) Determinar el tipo de estudio según tus objetivos e hipótesis. (3) Comprender las características, ventajas y limitaciones de cada enfoque y tipo. (4) Ver ejemplos concretos en diferentes ramas de ingeniería. (5) Tomar decisiones metodológicas fundamentadas que garanticen la validez de tus resultados.

Con esta información, podrás justificar claramente por qué tu investigación sigue determinado enfoque y tipo de estudio, preparándote para diseñar el procedimiento metodológico específico en los siguientes capítulos.

Prepárate para entrar en la *Parte III: Diseño Metodológico y Operativo*, donde aprenderás a convertir tu planificación en acciones concretas de investigación.



***¡Excelente trabajo completando el Capítulo 7!
Has formulado hipótesis, operacionalizado variables y creado tu matriz de consistencia.
¡Tú investigación está completamente planificada y lista para la fase de diseño metodológico!***

Parte III

**Diseño
metodológico
y operativo**

Parte III

Diseño metodológico y operativo

Capítulos incluidos:

- Capítulo 8: El enfoque y tipo de investigación
- Capítulo 9: La observación de la realidad
- Capítulo 10: La técnica e instrumentos de recolección de datos
- Capítulo 11: El procesamiento y análisis de datos

Capítulo 8

**Enfoques y tipos
de investigación**

Enfoques y tipos de investigación

La investigación científica en ingeniería requiere seleccionar un **enfoque** y un **tipo de estudio** adecuados para el problema planteado. Estas decisiones influyen directamente en el diseño metodológico, la precisión de los resultados y la validez de las conclusiones. Según Hernández et al. (2022), los enfoques determinan cómo se construye el conocimiento; mientras que los tipos de estudio organizan el nivel de profundidad con el que se aborda un fenómeno.

Figura 9

Tipos de investigación en ingeniería.



8.1. Enfoque cuantitativo

El **enfoque cuantitativo** se basa en la medición numérica, el análisis estadístico y la búsqueda de relaciones entre variables. Emplea instrumentos estandarizados, controles experimentales y criterios de validez estadística (Montgomery, 2017).

Características principales:

- Uso de datos numéricos.
- Recolección estructurada y controlada.
- Aplicación de pruebas estadísticas (correlación, regresión, ANOVA, etc.).
- Repetibilidad y replicabilidad.

Ejemplos en ingeniería:

- Medir la eficiencia de un intercambiador de calor a diferentes temperaturas.
- Evaluar la resistencia a tracción de un nuevo material compuesto.
- Modelar la relación entre tráfico vehicular y niveles de ruido.

Se utiliza ampliamente en ingeniería química, ambiental, civil, mecánica, eléctrica e industrial, porque permite **modelar**, **predecir** y **optimizar** procesos.

8.2. Enfoque cualitativo

El **enfoque cualitativo** busca comprender fenómenos complejos desde la percepción, experiencia o comportamiento de los actores involucrados (Creswell y Poth, 2018). No pretende medir, sino interpretar.

Características:

- Datos no numéricos (entrevistas, observación, documentos).
- Análisis inductivo.
- Profundización en significados, experiencias y dinámicas sociales.
- Menor estructura; mayor flexibilidad.

Ejemplos en ingeniería:

- Comprender por qué operadores no siguen protocolos de seguridad.
- Evaluar la percepción ciudadana sobre obras públicas.
- Analizar la cultura organizacional en una planta industrial.

Es útil en áreas como seguridad industrial, ingeniería de sistemas humanos, gestión de proyectos, ergonomía e ingeniería ambiental social.

8.3. Enfoque mixto

El **enfoque mixto** combina datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio para lograr mayor comprensión y potencia explicativa (Creswell y Plano Clark, 2018).

Características:

- Integración de análisis estadístico y análisis interpretativo.
- Fortalece la validez al triangular datos.
- Útil para problemas donde intervienen variables técnicas y humanas.

Ejemplos en ingeniería:

- Evaluar el impacto del ruido urbano (mediciones + entrevistas a residentes).
- Analizar fallas en procesos industriales (monitoreo + análisis de comportamiento humano).
- Evaluar la aceptabilidad de una nueva tecnología (sensores + encuestas cualitativas).

8.4. Estudios descriptivos

Los estudios descriptivos detallan características o propiedades de un fenómeno sin establecer relaciones causales (Hernández et al., 2022).

Objetivo: **describir cómo es o cómo se comporta una variable o un sistema.**

Ejemplos en ingeniería:

- Describir la composición física de los residuos sólidos domiciliarios.
- Determinar los niveles promedio de vibración en maquinaria pesada.
- Caracterizar la calidad del agua en una fuente natural.

Son útiles como estudios preliminares o diagnósticos.

8.5. Estudios correlacionales

Los estudios correlacionales analizan **el grado de relación entre dos o más variables**, sin afirmar causalidad (Triola, 2018).

Características:

- Determinan asociación mediante coeficientes como *r de Pearson* o *rho de Spearman*.
- Sirven para identificar tendencias preliminares.

Ejemplos:

- Relación entre temperatura y eficiencia energética.
- Relación entre ruido urbano y presión arterial.
- Relación entre humedad y resistencia del suelo.

En ingeniería son esenciales para modelamiento predictivo y para evaluar variables antes de experimentos.

8.6. Estudios experimentales

Los estudios experimentales prueban **causa-efecto**, manipulando variables independientes bajo condiciones controladas (Montgomery, 2017).

Características:

- Manipulación de variables.
- Grupos control y experimental.
- Aleatorización y replicación.
- Permiten inferir causalidad.

Ejemplos:

- Evaluar el efecto de un catalizador en la velocidad de reacción.
- Analizar el comportamiento de concreto con aditivos.
- Probar la eficiencia de un algoritmo bajo escenarios simulados.

Son fundamentales en ingeniería química, mecánica, civil, eléctrica y en investigación con prototipos.

8.7. Estudios explicativos

Buscan **identificar las causas que originan un fenómeno** y construir modelos teóricos o matemáticos que lo describan (Blessing y Chakrabarti, 2009).

Características:

- Alta complejidad.
- Modelo teórico + análisis experimental.
- Pruebas avanzadas de hipótesis.

Ejemplos en ingeniería:

- Explicar por qué ocurre corrosión bajo tensiones específicas.
- Determinar el mecanismo que causa deformación plástica en un polímero.
- Explicar los patrones de distribución de ruido en un entorno urbano.

Son estudios más profundos, usados en tesis de posgrado y proyectos científicos.

8.8. Estudios tecnológicos e ingenieriles

El **estudio tecnológico** se orienta a crear, mejorar o validar tecnologías, procesos, prototipos o sistemas (Franco et al., 2020).

Características:

- Diseños, simulaciones, modelos CAD, prototipos, pruebas piloto.
- Orientación aplicada.
- Optimización, escalamiento, automatización.

Ejemplos:

- Diseño de biorreactores.
- Desarrollo de sensores basados en Arduino.
- Creación de materiales compuestos para uso estructural.
- Diseño de barreras verdes para reducir ruido.

En ingeniería, este tipo de estudio es uno de los más frecuentes, pues resuelve problemas reales mediante soluciones tecnológicas.

8.9. Cuando usar cada tipo de investigación y enfoque metodológico en ingeniería

Tabla 4

Tipo y enfoque metodológico.

Situación	Enfoque recomendado	Tipo de estudio
Diagnóstico inicial.	Cuantitativo o mixto	Descriptivo
Buscar relación entre variables.	Cuantitativo	Correlacional
Probar eficacia de una intervención o prototipo.	Cuantitativo	Experimental
Comprender factores humanos, culturales o de gestión.	Cualitativo	Fenomenológico / Estudio de caso
Explicar causas profundas de un fenómeno.	Cuantitativo	Explicativo
Crear, diseñar o mejorar tecnología.	Cuantitativo / Mixto	Tecnológico / Ingenieril
Evaluación integral de proyectos.	Mixto	Aplicado y explicativo

No obstante, la selección depende de:

- La naturaleza del problema.
- El tipo de datos disponibles.
- La complejidad del sistema.
- Los objetivos de investigación.

Enfoques y tipos de investigación

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó la selección del enfoque y tipo de estudio adecuado para el problema planteado, decisiones que influyen directamente en el diseño metodológico, la precisión de los resultados y la validez de las conclusiones. Se estableció que los enfoques determinan cómo se construye el conocimiento, mientras que los tipos de estudio organizan el nivel de profundidad con el que se aborda un fenómeno. Se presentaron tres enfoques de investigación. El **enfoque cuantitativo** se basa en medición numérica, análisis estadístico y búsqueda de relaciones entre variables, empleando instrumentos estandarizados, controles experimentales y criterios de validez estadística, con características de uso de datos numéricos, recolección estructurada, pruebas estadísticas y repetibilidad. Se utiliza ampliamente en ingeniería porque permite modelar, predecir y optimizar procesos. El **enfoque cualitativo** busca comprender fenómenos complejos desde la percepción, experiencia o comportamiento de actores involucrados, sin medir sino interpretar, con características de datos no numéricos, análisis inductivo, profundización en significados y mayor flexibilidad. Es útil en seguridad industrial, sistemas humanos, gestión de proyectos y ergonomía. El **enfoque mixto** combina datos cuantitativos y cualitativos para mayor comprensión, integrando análisis estadístico e interpretativo, fortaleciendo validez mediante triangulación de datos. Se presentaron cinco tipos de estudio. Los **estudios descriptivos** detallan características sin establecer relaciones causales, siendo útiles como estudios preliminares o diagnósticos. Los **estudios correlacionales** analizan el grado de relación entre variables sin afirmar causalidad, usando coeficientes como r de Pearson o ρ de Spearman. Los **estudios experimentales** prueban causa-efecto manipulando variables bajo condiciones controladas, con grupos control y experimental, aleatorización y replicación. Los **estudios explicativos** buscan identificar causas que

originan fenómenos y construir modelos teóricos o matemáticos. Los **estudios tecnológicos e ingenieriles** se orientan a crear, mejorar o validar tecnologías, procesos, prototipos o sistemas mediante diseños, simulaciones, modelos CAD y pruebas piloto. Finalmente, se proporcionó una tabla de decisión que relaciona situaciones específicas con enfoques y tipos recomendados, enfatizando que la selección depende de la naturaleza del problema, tipo de datos disponibles, complejidad del sistema y objetivos de investigación.

🔑 Conceptos clave

- **Enfoque de investigación:** Perspectiva metodológica que determina cómo se construye el conocimiento en el estudio, definiendo la naturaleza de los datos, los procedimientos de análisis y la forma de interpretar resultados.
- **Tipo de estudio:** Clasificación de la investigación según el nivel de profundidad con el que se aborda un fenómeno, determinando los alcances y limitaciones del estudio.
- **Enfoque cuantitativo:** Perspectiva metodológica basada en medición numérica, análisis estadístico y búsqueda de relaciones entre variables, empleando instrumentos estandarizados, controles experimentales y criterios de validez estadística.
- **Características del enfoque cuantitativo:** Uso de datos numéricos, recolección estructurada y controlada, aplicación de pruebas estadísticas (correlación, regresión, ANOVA), repetibilidad y replicabilidad de resultados.
- **Enfoque cualitativo:** Perspectiva metodológica que busca comprender fenómenos complejos desde la percepción, experiencia o comportamiento de los actores involucrados, sin pretender medir sino interpretar significados.
- **Características del enfoque cualitativo:** Uso de datos no numéricos (entrevistas, observación, documentos), análisis inductivo, profundización en significados, experiencias y dinámicas sociales, menor estructura y mayor flexibilidad.
- **Enfoque mixto:** Perspectiva metodológica que combina datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio para lograr mayor comprensión y potencia explicativa mediante la integración de análisis estadístico e interpretativo.
- **Triangulación de datos:** Estrategia metodológica del enfoque mixto que fortalece la validez al combinar múltiples fuentes o tipos de datos para estudiar el mismo fenómeno desde diferentes ángulos.
- **Estudios descriptivos:** Investigaciones que detallan características o propiedades de un fenómeno sin establecer relaciones causales, con el objetivo de describir cómo es o cómo se comporta una variable o sistema.
- **Estudios correlacionales:** Investigaciones que analizan el grado de relación entre dos o más variables sin afirmar causalidad, determinando asociación mediante coeficientes estadísticos como r de Pearson o ρ de Spearman.
- **Estudios experimentales:** Investigaciones que prueban relaciones causa-efecto manipulando variables independientes bajo condiciones controladas,

con características de manipulación de variables, grupos control y experimental, aleatorización, replicación.

- **Grupos control y experimental:** Elemento fundamental de estudios experimentales donde el grupo experimental recibe el tratamiento o intervención, mientras el grupo control mantiene condiciones estándar para comparación.
- **Aleatorización:** Procedimiento de asignación al azar de unidades experimentales a grupos de tratamiento, garantizando que las diferencias observadas se deban a la variable manipulada y no a sesgos de selección.
- **Replicación:** Repetición del experimento bajo las mismas condiciones para verificar consistencia de resultados y aumentar la confiabilidad estadística de las conclusiones.
- **Estudios explicativos:** Investigaciones que buscan identificar las causas que originan un fenómeno y construir modelos teóricos o matemáticos que lo describan, con alta complejidad, combinando modelo teórico y análisis experimental.
- **Estudios tecnológicos e ingenieriles:** Investigaciones orientadas a crear, mejorar o validar tecnologías, procesos, prototipos o sistemas mediante diseños, simulaciones, modelos CAD, prototipos y pruebas piloto, con orientación aplicada y énfasis en optimización, escalamiento y automatización.
- **Modelar, predecir y optimizar:** Tres capacidades fundamentales del enfoque cuantitativo en ingeniería: crear representaciones matemáticas de sistemas (modelar), anticipar comportamientos futuros (predecir), y mejorar desempeño (optimizar).
- **Coefficiente de correlación r de Pearson:** Medida estadística de asociación lineal entre dos variables continuas, con valores entre -1 (correlación negativa perfecta) y +1 (correlación positiva perfecta).
- **Coefficiente rho de Spearman:** Medida estadística de asociación basada en rangos, apropiada para variables ordinales o cuando la relación no es lineal, también con valores entre -1 y +1.

💡 Ideas principales

1. La selección del enfoque y tipo de estudio adecuados influye directamente en el diseño metodológico, la precisión de los resultados y la validez de las conclusiones de la investigación.
2. Los enfoques determinan cómo se construye el conocimiento (epistemología), mientras que los tipos de estudio organizan el nivel de profundidad con el que se aborda un fenómeno (alcance de la investigación).
3. El enfoque cuantitativo se basa en tres pilares: medición numérica (cuantificación de variables), análisis estadístico (uso de pruebas matemáticas), y búsqueda de relaciones entre variables (establecimiento de patrones).
4. Las características principales del enfoque cuantitativo son: uso de datos numéricos, recolección estructurada y controlada, aplicación de pruebas

estadísticas (correlación, regresión, ANOVA), y repetibilidad y replicabilidad de experimentos.

5. El enfoque cuantitativo se utiliza ampliamente en ingeniería química, ambiental, civil, mecánica, eléctrica e industrial porque permite modelar (crear representaciones matemáticas), predecir (anticipar comportamientos), y optimizar (mejorar desempeño) procesos.
6. El enfoque cualitativo busca comprender fenómenos complejos desde la percepción, experiencia o comportamiento de los actores involucrados, sin pretender medir sino interpretar significados y dinámicas.
7. Las características del enfoque cualitativo incluyen: datos no numéricos (entrevistas, observación, documentos); análisis inductivo (de lo particular a lo general); profundización en significados y experiencias, y mayor flexibilidad en el diseño.
8. El enfoque cualitativo es útil en áreas de ingeniería como seguridad industrial (entender incumplimiento de protocolos); ingeniería de sistemas humanos (factores humanos); gestión de proyectos (cultura organizacional); ergonomía (experiencia del usuario); ingeniería ambiental social (percepción ciudadana).
9. El enfoque mixto combina datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, integrando análisis estadístico y análisis interpretativo, fortaleciendo la validez al triangular datos desde diferentes perspectivas.
10. El enfoque mixto es especialmente útil para problemas donde intervienen tanto variables técnicas (medibles numéricamente) como variables humanas (percepciones, experiencias, comportamientos), proporcionando una comprensión más completa del fenómeno.
11. Los estudios descriptivos detallan características o propiedades de un fenómeno sin establecer relaciones causales, siendo útiles como estudios preliminares o diagnósticos que caracterizan el estado actual de un sistema.
12. Los estudios correlacionales analizan el grado de relación entre dos o más variables sin afirmar causalidad, usando coeficientes como r de Pearson (variables continuas) o rho de Spearman (variables ordinales o relaciones no lineales), siendo esenciales para modelamiento predictivo.
13. Los estudios experimentales prueban relaciones causa-efecto manipulando variables independientes bajo condiciones controladas, con cuatro características fundamentales: manipulación de variables, grupos control y experimental, aleatorización, y replicación.
14. Los estudios experimentales permiten inferir causalidad (afirmar que X causa Y), lo cual los diferencia de los correlacionales que solo identifican asociación (X y Y se relacionan). Son fundamentales en ingeniería química, mecánica, civil, eléctrica y en investigación con prototipos.
15. Los estudios explicativos buscan identificar las causas profundas que originan un fenómeno y construir modelos teóricos o matemáticos que lo describan, con alta complejidad, combinando modelo teórico y análisis experimental avanzado, siendo más comunes en tesis de posgrado.
16. Los estudios tecnológicos e ingenieriles son los más frecuentes en ingeniería porque se orientan a crear, mejorar o validar tecnologías, procesos, prototipos o

sistemas que resuelven problemas reales mediante soluciones tecnológicas concretas.

17. Las características de estudios tecnológicos incluyen: diseños (planos, especificaciones); simulaciones (modelado computacional); modelos CAD (diseño asistido por computadora); prototipos (versiones funcionales); pruebas piloto (validación a escala); con orientación aplicada y énfasis en optimización, escalamiento y automatización.
18. La tabla de decisión muestra recomendaciones: diagnóstico inicial (cuantitativo/mixto + descriptivo); buscar relaciones (cuantitativo + correlacional), probar eficacia (cuantitativo + experimental); comprender factores humanos (cualitativo + fenomenológico); explicar causas (cuantitativo + explicativo); crear tecnología (cuantitativo/mixto + tecnológico).
19. La selección del enfoque y tipo no es arbitraria, sino que depende de cuatro factores críticos: naturaleza del problema (qué se estudia); tipo de datos disponibles (qué se puede medir u observar); complejidad del sistema (número de variables e interacciones); y objetivos de investigación (qué se busca lograr).
20. Cada rama de ingeniería tiende a usar ciertos enfoques con más frecuencia, pero la decisión final siempre debe basarse en el problema específico, no en preferencias personales o tradiciones disciplinares.

⚡ Para recordar

✓ **Enfoques** = Cómo se construye conocimiento | **TIPOS** = Nivel de profundidad

✓ Selección influye: Diseño metodológico + Precisión + Validez.

✓ **Enfoque Cuantitativo:**

→ Base: Medición numérica + Análisis estadístico + Relaciones entre variables.

→ Características: Datos numéricos | Recolección estructurada | Pruebas estadísticas | Repetibilidad.

→ Permite: Modelar + Predecir + Optimizar procesos.

→ Usado en: Química, Ambiental, Civil, Mecánica, Eléctrica, Industrial.

→ Ejemplos: Medir eficiencia, Evaluar resistencia, Modelar tráfico-ruido.

✓ **Enfoque Cualitativo**

→ Base: Comprender percepciones, experiencias, comportamientos.

→ No mide → Interpreta significados.

→ Características: Datos NO numéricos | Análisis inductivo | Mayor flexibilidad.

→ Útil en: Seguridad industrial, Sistemas humanos, Gestión proyectos,

Ergonomía.

→ Ejemplos: Incumplimiento protocolos, Percepción ciudadana, Cultura organizacional.

✓ **Enfoque Mixto**

→ Combina: Cuantitativo + Cualitativo en mismo estudio.

→ Integra: Análisis estadístico + Análisis interpretativo.

→ Fortalece validez: Triangulación de datos.

→ Útil cuando: Variables técnicas + Variables humanas.

→ Ejemplos: Ruido (mediciones + entrevistas), Fallas (monitoreo + comportamiento).

✓ **5 tipos de estudio**

(1) Descriptivos: Detallan características SIN relaciones causales.

→ Objetivo: Describir cómo es/comporta variable o sistema.

→ Útil: Estudios preliminares, Diagnósticos.

→ Ejemplos: Composición residuos, Niveles vibración, Calidad agua.

(2) Correlacionales: Relación entre variables SIN afirmar causalidad.

→ Coeficientes: r de Pearson (lineal) | rho de Spearman (ordinal/no lineal).

→ Esencial: Modelamiento predictivo.

→ Ejemplos: Temperatura-eficiencia, Ruido-presión arterial, Humedad-resistencia.

(3) Experimentales: Prueban Causa-Efecto bajo control.

→ Características: Manipulación variables | Grupos control/experimental | Aleatorización | Replicación.

→ Permiten: INFERIR CAUSALIDAD (X causa Y).

→ Ejemplos: Efecto catalizador, Concreto con aditivos, Algoritmo en escenarios.

(4) Explicativos: Identifican causas + Construyen modelos teóricos/matemáticos

→ Alta complejidad | Modelo teórico + Análisis experimental.

→ Comunes en: Tesis posgrado, Proyectos científicos.

→ Ejemplos: Por qué corrosión, Mecanismo deformación, Patrones distribución ruido.

(5) Tecnológicos/Ingenieriles: Crear/mejorar/validar tecnologías.

→ Herramientas: Diseños, Simulaciones, CAD, Prototipos, Pruebas piloto.

→ Orientación: Aplicada (resuelve problemas reales).

→ Más Frecuente en ingeniería.

→ Ejemplos: Biorreactores, Sensores Arduino, Materiales compuestos,

Barreras verdes.

✓ **Tabla de decisión**

Diagnóstico inicial → Cuantitativo/Mixto + Descriptivo.

Buscar relaciones → Cuantitativo + Correlacional.

Probar eficacia → Cuantitativo + Experimental

Comprender humanos → Cualitativo + Fenomenológico.

Explicar causas → Cuantitativo + Explicativo.

Crear tecnología → Cuantitativo/Mixto + Tecnológico.

✓ **Selección depende de:** Naturaleza problema + Datos disponibles +

Complejidad + Objetivos.

✓ **Diferencia clave:** Correlacional (X y Y se asocian) vs Experimental (X causa Y).

☛ **Aplica lo aprendido**

Estos ejercicios te ayudarán a seleccionar y justificar el enfoque y tipo de estudio más apropiado para tu investigación. La decisión correcta es fundamental para el éxito metodológico de tu proyecto.

Ejercicio 1: Identificación del enfoque apropiado: Analiza tu problema de investigación, objetivos e hipótesis que has formulado. Determina: (a) ¿Tu estudio requiere mediciones numéricas de variables cuantificables? (b) ¿Necesitas comprender percepciones, experiencias o comportamientos humanos? (c) ¿Combina ambos elementos (técnicos y humanos)? Con base en estas respuestas, selecciona el enfoque más apropiado: cuantitativo, cualitativo o mixto. Justifica tu elección explicando por qué este enfoque es el más adecuado para tu problema específico (5-7 líneas).

Ejercicio 2: Características de tu enfoque seleccionado: Una vez seleccionado tu enfoque, describe cómo se manifestará en tu investigación: Si es Cuantitativo: especifica qué variables medirás numéricamente, qué instrumentos estandarizados usarás, qué pruebas estadísticas aplicarás, cómo garantizarás repetibilidad. Si es Cualitativo: especifica qué datos no numéricos recolectarás (entrevistas, observaciones), cómo realizarás el análisis inductivo, qué significados buscarás interpretar. Si es Mixto: explica cómo integrarás ambos componentes y cómo triangularás los datos.

Ejercicio 3: Identificación del tipo de estudio: Basándote en tus objetivos, determina el tipo de estudio más apropiado. Responde: (a) ¿Tu objetivo es solo describir características? → Descriptivo. (b) ¿Buscas identificar relaciones sin manipular variables? → Correlacional. (c) ¿Manipularás variables bajo condiciones controladas para probar causa-efecto? → Experimental. (d) ¿Buscarás explicar causas profundas con modelos teóricos? → Explicativo. (e) ¿Crearás/mejorarás tecnología, proceso o prototipo? → Tecnológico/Ingenieril. Selecciona uno y justifica por qué es el más apropiado (4-5 líneas).

Ejercicio 4: Justificación mediante la tabla de decisión: Consulta la tabla de decisión del capítulo. Identifica: (a) ¿En qué situación de la tabla se encuentra tu investigación? (diagnóstico inicial, buscar relaciones, probar eficacia, comprender humanos, explicar causas, crear tecnología). (b) ¿El enfoque y tipo que recomendó la tabla coinciden con tu selección? (c) Si NO coinciden, ¿por qué consideras que tu selección es más apropiada para tu caso específico? (d) Si SÍ coinciden, ¿esto refuerza tu confianza en la decisión tomada?

Ejercicio 5: Análisis de factores de decisión: Evalúa los cuatro factores que influyen en la selección: (1) Naturaleza del problema: Describe qué tipo de fenómeno estudias (técnico puro, humano, socio-técnico). (2) Tipo de datos disponibles: Especifica qué datos puedes obtener (numéricos, testimoniales, documentales, mixtos). (3) Complejidad del sistema: Indica cuántas variables interactúan y si las relaciones son simples o complejas. (4) Objetivos: Clarifica si buscas describir, relacionar, explicar o crear. Explica cómo estos factores respaldan tu selección.

Ejercicio 6: Comparación enfoque cuantitativo vs cualitativo: Realiza un ejercicio de contraste. Imagina que tu investigación se realizará con enfoque cuantitativo: ¿qué medirías?, ¿qué estadísticas aplicarías?, ¿qué limitaciones tendría? Ahora imagínala con enfoque cualitativo: ¿qué interpretarías?, ¿qué significados buscarías?, ¿qué limitaciones tendría? Esta comparación te ayudará a confirmar que tu elección es la correcta al evidenciar las ventajas del enfoque seleccionado sobre el alternativo.

Ejercicio 7: Diferenciación correlacional vs experimental: Si tu estudio busca establecer relaciones entre variables, determina si será correlacional o experimental respondiendo: (a) ¿Manipularás la variable independiente o solo la observarás en su contexto natural? (b) ¿Tendrás grupos control y experimental? (c) ¿Asignarás tratamientos al azar (aleatorización)? (d) ¿Podrás afirmar que "X causa Y" o solo que "X se asocia con Y"? Si manipulas, controlas y aleatorizas → Experimental. Si solo observas asociaciones → Correlacional. ¿Cuál es tu caso?

Ejercicio 8: Planificación para estudio tecnológico/ingenieril: Si seleccionaste estudio tecnológico/ingenieril, planifica: (a) ¿Qué crearás, mejorarás o validarás específicamente? (tecnología, proceso, prototipo, sistema). (b) ¿Qué herramientas usarás? (diseños CAD, simulaciones, prototipos físicos, pruebas piloto). (c) ¿Cuál es la orientación aplicada? (qué problema real resolverás). (d) ¿Qué optimizarás?

(eficiencia, costo, desempeño, seguridad). (e) ¿Cómo validarás que funciona? (pruebas, comparaciones, mediciones de desempeño).

Ejercicio 9: Coherencia con hipótesis y variables: Verifica que tu enfoque y tipo sean coherentes con tus hipótesis y variables: (a) Si formulaste hipótesis causales ("X causa Y"); ¿tu tipo de estudio permite probar causalidad? (debe ser experimental o explicativo). (b) Si formulaste hipótesis correlacionales ("X se asocia con Y"); ¿tu tipo permite medir asociación? (puede ser correlacional). (c) Si tus variables son cuantificables, ¿tu enfoque permite medirlas? (debe ser cuantitativo o mixto). (d) Corrige cualquier incoherencia que detectes.

Ejercicio 10: Redacción justificada del enfoque y tipo: Redacta dos párrafos profesionales para incluir en tu proyecto: Párrafo 1: Justifica el enfoque seleccionado (4-6 líneas) explicando por qué cuantitativo/cualitativo/mixto es apropiado para tu problema, citando características específicas del enfoque que se alinean con tu estudio. Párrafo 2: Justifica el tipo de estudio seleccionado (4-6 líneas) explicando por qué descriptivo/correlacional/experimental /explicativo/tecnológico es apropiado para tus objetivos, especificando qué te permitirá lograr este tipo que otros no permitirían.

→ Siguiente paso

¡Excelente! Has seleccionado y justificado el enfoque y tipo de estudio para tu investigación. Ahora sabes cómo construirás el conocimiento y el nivel de profundidad con el que abordarás tu fenómeno. El siguiente paso es definir exactamente **qué** estudiarás y **cuánto** medirás.

En el Capítulo 9 - "Población y Muestra", aprenderás a definir el universo de análisis y a determinar la cantidad de datos necesarios para que tu estudio sea válido y representativo. Este capítulo es fundamental porque garantiza que tus resultados puedan generalizarse apropiadamente.

Aprenderás conceptos esenciales adaptados a ingeniería. La **población** no siempre son personas, puede ser muestras de agua/aire/suelo, piezas mecánicas, lotes de producción, datos de temperatura, señales eléctricas, cargas de puente, ciclos de operación. La **unidad de estudio** es el elemento mínimo sobre el cual realizas mediciones. Los **sistemas físicos** (reactores, sistemas de bombeo, servidores, motores, redes eléctricas) representan "poblaciones" como todas las posibles condiciones del sistema.

Dominarás el cálculo del tamaño de muestra. Para datos continuos usarás la fórmula $n = (Z \cdot \sigma / E)^2$ donde Z es el nivel de confianza, σ la desviación estándar y E el error aceptable. Para proporciones (fallas, defectos) usarás $n = Z^2 \cdot p(1-p) / E^2$. Conocerás la regla práctica de Montgomery: 3-5 réplicas por tratamiento en diseños experimentales.

Aprenderás los métodos de muestreo. El **muestreo probabilístico** (aleatorio simple, sistemático, estratificado, por conglomerados) ofrece mayor validez estadística porque todos los elementos tienen la misma probabilidad de selección. El **muestreo no probabilístico** (por conveniencia, intencional, por cuotas, bola de nieve) se usa cuando el acceso es difícil, las mediciones son costosas, o trabajas con prototipos únicos.

Conocerás la selección de puntos de muestreo específica por rama: ambiental (aguas arriba/media/abajo, puntos de descarga); civil (columnas, vigas, losas, zonas de mayor esfuerzo); química (entrada/zona de mezcla/salida de reactor); mecánica (partes con fricción, vibración, regiones térmicas); sistemas (servidor principal, enlaces críticos, puntos de latencia); industrial (cuellos de botella, mayor tiempo de ciclo, mayor variabilidad).

El capítulo incluye tres ejemplos completos de cálculo paso a paso (calidad de agua, fallas en piezas, diseño experimental) y un caso práctico integral que muestra cómo definir población, unidades de estudio y muestra en un proyecto real de ingeniería ambiental.

Prepárate para determinar científicamente cuántos datos necesitas recolectar y dónde medirlos para garantizar que tus resultados sean válidos, confiables y representativos.



***¡Felicitaciones por completar el Capítulo 8!
Has seleccionado el enfoque y tipo de estudio apropiados para tu investigación.
Ahora es momento de definir tu población, muestra y puntos de muestreo.***

Capítulo 9

**Población
y muestra**

Población y muestra

En los estudios científicos —especialmente en ingeniería química, ambiental, civil, industrial, mecánica y de sistemas— es necesario definir **qué se va a estudiar, qué elementos forman parte del universo de análisis y qué parte de ese universo será medida.**

Figura 10

Población y muestra de la investigación.



Los conceptos de población, unidades de estudio y muestra permiten garantizar que los datos obtenidos sean representativos y válidos (Hernández et al., 2022).

9.1. Población, unidades de estudio y sistemas físicos

Población

En investigación científica, especialmente cuantitativa, la **población** es el conjunto total de elementos que poseen una característica común que se desea estudiar (Triola, 2018).

En ingeniería, la población no siempre son personas. Pueden ser:

- Muestras de agua, aire o suelo.
- Piezas mecánicas.
- Lotes de producción.
- Datos de temperatura.
- Señales eléctricas.
- Cargas de un puente.
- Ciclos de operación de una máquina.

Ejemplo:

Población = “Todas las muestras de agua de la quebrada Zaragoza durante el año 2024”.

Unidad de estudio

Es el elemento mínimo sobre el cual se realizan las mediciones (Montgomery, 2017).

Ejemplos:

- Una muestra de 500 ml de agua.
- Una pieza metálica ensayada en tracción.
- Una medición de ruido.
- Un sensor funcionando durante un ciclo.

Sistemas físicos en ingeniería

En vez de población, muchas investigaciones ingenieriles se realizan sobre **sistemas físicos**, por ejemplo:

- Un reactor.
- Un sistema de bombeo.
- Un servidor informático.
- Un motor térmico.
- Un proceso de flotación.
- Una red eléctrica.
- Un tramo de una avenida con tráfico.

En estos casos, la “población” equivale a **todas las posibles condiciones del sistema o todas las unidades de tiempo/espacio donde se mide.**

9.2. Tamaño de muestra para datos experimentales

En ingeniería, el tamaño de muestra depende de:

- Variabilidad del proceso.
- Precisión requerida.
- Nivel de confianza.
- Tipo de experimento.

Fórmula general para tamaño de muestra en población infinita (datos continuos)

$$n = \left(\frac{Z \cdot \sigma}{E} \right)^2$$

Donde:

- Z = valor Z según el nivel de confianza (1.96 para 95%).
- σ = desviación estándar conocida o estimada.
- E = error máximo aceptable.

Regla práctica en ingeniería experimental

Montgomery (2017) recomienda **entre 3 y 5 réplicas por tratamiento** en diseños experimentales clásicos.

Tamaño de muestra para proporciones en población finita (útil en fallas o defectos)

$$n = \frac{Z^2 \cdot p(1 - p)}{E^2}$$

9.3. Muestreo probabilístico

El muestreo es el proceso estadístico mediante el cual se selecciona un subconjunto de elementos (muestra) de un conjunto mayor (población). El objetivo es que, al estudiar este grupo reducido, se puedan inferir conclusiones válidas para la totalidad del grupo original.

“El muestreo probabilístico, es aquel que se ejecuta aplicando el azar”, y se aplica en experimentos aleatorios.

***Regla de Oro:** Para que una inferencia sea estadísticamente válida, el proceso de selección debe garantizar que cada miembro de la población tenga una probabilidad conocida y distinta de cero de ser incluido.*

Son métodos donde **todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados** (Hernández et al., 2022). Ofrecen mayor validez estadística.

A diferencia del muestreo por conveniencia, en el probabilístico la selección es aleatoria; esto elimina el sesgo del investigador y permite aplicar el cálculo de márgenes de error.

Tipos principales

1. Aleatorio simple

Es la forma más básica. Todos los elementos tienen exactamente la misma probabilidad de ser elegidos. Se asigna un número a cada individuo y se eligen al azar (usando tablas de números aleatorios o software).

Ejemplo: Seleccionar a 50 estudiantes de una lista de 500 de la Facultad de Ingeniería, usando un generador de números aleatorios.

2. Sistemático

Se elige un punto de partida al azar y luego se selecciona a cada k -ésimo elemento de la lista. El intervalo k se calcula como N/n (Población / Muestra).

Ejemplo: Si necesitas una muestra de 20 viviendas en una calle de 200 casas, el intervalo es 10. Eliges una casa al azar entre la 1 y la 10 (ej. la casa 4) y luego vas de 10 en 10 (14, 24, 34...).

3. Estratificado

La población se divide en grupos homogéneos llamados estratos (por ejemplo, por ciclos académicos, género o niveles socioeconómicos). Luego, se realiza un muestreo aleatorio simple dentro de cada estrato.

Ejemplo: En un estudio sobre calidad del agua, divide los puntos de toma de muestra en "Cabecera de cuenca", "Zona media" y "Desembocadura", asegurando que cada zona esté representada proporcionalmente en la muestra final.

4. Por conglomerados

Se utiliza cuando la población está dispersa geográficamente. En lugar de seleccionar individuos, se seleccionan grupos naturales (conglomerados).

Ejemplo: Para estudiar el uso de químicos en laboratorios a nivel nacional, se seleccionan primero 5 universidades al azar (conglomerados) y se estudia a todos los laboratorios dentro de esas instituciones.

Tabla 5

Cuadro comparativo de aplicación del tipo de muestreo probabilístico.

Método	Cuando usarlo	Ventaja Principal
Simple	Poblaciones pequeñas y listadas.	Es el más sencillo de entender.
Sistemático	Cuando no hay una lista numerada pero sí un orden físico.	Más rápido que el aleatorio simple.
Estratificado	Cuando hay grupos muy diferentes entre sí.	Mayor precisión y representatividad.
Conglomerados	Poblaciones muy grandes o dispersas.	Reducir costos de traslado y logística.

9.4. Muestreo no probabilístico

Se utiliza cuando no es posible obtener una lista completa de la población o cuando el objetivo es exploratorio (Creswell y Poth, 2018).

Tipos comunes

1. **Por conveniencia:**

Se seleccionan los elementos más accesibles.

2. **Intencional:**

Se eligen casos típicos o significativos.

3. **Por cuotas:**

Se seleccionan unidades hasta completar proporciones definidas.

4. **Bola de nieve:**

Un caso conduce a otro (más usado en estudios sociales).

En ingeniería se usa cuando:

- El acceso es difícil.
- Las mediciones son costosas.
- se trabaja con prototipos o procesos únicos.

9.5. Ejemplos de cálculo de muestra paso a paso

Ejemplo 1: Calidad del agua.

Se desea medir turbidez con un error de ± 2 NTU, desviación estándar estimada de 5 NTU, y 95% de confianza.

$$n = \left(\frac{1.96 \cdot 5}{2}\right)^2$$
$$n = \left(\frac{9.8}{2}\right)^2 = 4.9^2 = 24.01$$

Muestra mínima: 25 datos.

Ejemplo 2: Fallas en piezas metálicas.

Se estima que el 10% de las piezas tiene defectos.

Error máximo: $\pm 5\%$.

Confianza: 95%.

$$n = \frac{1.96^2 \cdot 0.10(1 - 0.10)}{0.05^2}$$
$$n = \frac{3.84 \cdot 0.09}{0.0025}$$
$$n = 138.2$$

Se necesitan 139 piezas.

Ejemplo 3: Diseño experimental con 3 tratamientos.

Si se emplean 4 réplicas por tratamiento:

$$n = 3 \times 4 = 12 \text{ experimentos.}$$

9.6. Selección de puntos de muestreo en procesos y ambientes

La selección correcta de puntos es clave para obtener datos representativos (EPA, 2016).

En ingeniería Ambiental

- Aguas arriba.
- Zona media.
- Aguas abajo.
- Puntos de descarga.
- Puntos críticos por acumulación.

En ingeniería Civil

- Columnas.
- Vigas.
- Losa.
- Zonas de mayor esfuerzo.

En ingeniería Química

- Entrada del reactor.
- Zona de mezcla.
- Salida del reactor.
- Líneas de reciclaje.

En ingeniería Mecánica

- Partes con mayor fricción.
- Zonas de vibración.
- Regiones térmicas críticas.

En ingeniería de Sistemas

- Servidor principal.
- Enlaces críticos.
- Puntos de latencia.

En ingeniería Industrial

- Cuellos de botella.
- Estaciones con mayor tiempo de ciclo.
- Procesos con mayor variabilidad.

9.7. Caso práctico completo

Título del estudio

“Evaluación del ruido ambiental en la Av. La Marina para determinar el impacto de las barreras verdes.”

Población

Todos los niveles de ruido generados por el tráfico vehicular en la Av. La Marina durante el año 2025.

Unidades de estudio

Cada medición puntual de nivel de presión sonora (dB).

Muestra

Número de mediciones requeridas para un error de ± 1.5 dB y desviación estándar estimada de 4 dB:

$$n = \left(\frac{1.96 \cdot 4}{1.5} \right)^2 = 27.25$$

Se realizarán 28 mediciones por punto.

Selección de puntos

1. Zona de alta congestión.
2. Zona media.
3. Zona cercana a instituciones educativas.
4. Zona posterior a instalación de barrera verde.
5. Zona control (sin barrera).

Tipo de muestreo

Probabilístico sistemático:

Mediciones cada 10 minutos durante 3 horas en cada punto.

Resultado esperado

Mapa acústico + comparación estadística antes y después de la barrera.

Población y muestra

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó la definición de población y muestra en el contexto de investigación ingenieril, estableciendo que es necesario definir qué se va a estudiar, qué elementos forman parte del universo de análisis, y qué parte de ese universo será medida para garantizar datos representativos y válidos. Se definió la **población** como el conjunto total de elementos que poseen una característica común que se desea estudiar, enfatizando que en ingeniería no siempre son personas, sino que puede ser muestras de agua/aire/suelo, piezas mecánicas, lotes de producción, datos de temperatura, señales eléctricas, cargas de puente, o ciclos de operación de máquina. Se definió la **unidad de estudio** como el elemento mínimo sobre el cual se realizan las mediciones (una muestra de 500mL de agua, una pieza metálica ensayada, una medición de ruido, un sensor en un ciclo). Se explicó que en investigaciones ingenieriles se trabaja frecuentemente con **sistemas físicos** (reactor, sistema de bombeo, servidor informático, motor térmico, proceso de flotación, red eléctrica, tramo de avenida), donde la población equivale a todas las posibles condiciones del sistema o todas las unidades de tiempo/espacio donde se mide. Se presentaron dos fórmulas para calcular tamaño de muestra: para datos continuos $n=(Z \cdot \sigma/E)^2$ y para proporciones $n=Z^2 \cdot p(1-p)/E^2$, además de la regla práctica de Montgomery que recomienda 3-5 réplicas por tratamiento en diseños experimentales clásicos. Se explicaron los métodos de **muestreo probabilístico** (aleatorio simple, sistemático, estratificado, por conglomerados) que ofrecen mayor validez estadística, y **muestreo no probabilístico** (por conveniencia, intencional, por cuotas, bola de nieve) usado cuando el acceso es difícil, las mediciones son costosas, o se trabaja con prototipos únicos. Se proporcionó orientación específica para **selección de puntos de muestreo** por rama: ambiental (aguas arriba/media/abajo, puntos de descarga, críticos); civil (columnas, vigas, losas, zonas de mayor esfuerzo); química (entrada/mezcla/salida de reactor, líneas de reciclaje); mecánica (fricción, vibración, regiones térmicas); sistemas (servidor principal, enlaces críticos,

latencia); industrial (cuellos de botella, mayor tiempo de ciclo, mayor variabilidad). Se presentaron tres ejemplos completos de cálculo paso a paso: calidad del agua (turbidez, n=25 datos); fallas en piezas metálicas (10% defectos, n=139 piezas); y diseño experimental con 3 tratamientos (4 réplicas, n=12 experimentos). Finalmente, se proporcionó un caso práctico completo de evaluación de ruido ambiental mostrando cómo definir población, unidades de estudio, cálculo de muestra (n=28 mediciones por punto), selección de 5 puntos específicos, y tipo de muestreo probabilístico sistemático con mediciones cada 10 minutos durante 3 horas.

🔑 Conceptos clave

- **Población:** Conjunto total de elementos que poseen una característica común que se desea estudiar. En ingeniería puede ser muestras de agua/aire/suelo, piezas mecánicas, lotes de producción, datos de temperatura, señales eléctricas, cargas de puente, ciclos de operación.
- **Unidad de estudio:** Elemento mínimo sobre el cual se realizan las mediciones: una muestra de 500mL de agua, una pieza metálica ensayada en tracción, una medición de ruido, un sensor funcionando durante un ciclo.
- **Sistemas físicos en ingeniería:** Concepto de "población" adaptado a ingeniería que representa todas las posibles condiciones de un sistema (reactor, sistema de bombeo, servidor informático, motor térmico, proceso de flotación, red eléctrica, tramo de avenida) o todas las unidades de tiempo/espacio donde se mide.
- **Tamaño de muestra:** Cantidad de unidades de estudio necesarias para que los resultados sean representativos y válidos, dependiendo de variabilidad del proceso, precisión requerida, nivel de confianza y tipo de experimento.
- **Fórmula para datos continuos:** Ecuación $n = (Z \cdot \sigma / E)^2$ donde Z es valor según nivel de confianza (1.96 para 95%), σ es desviación estándar conocida o estimada, E es error máximo aceptable. Usada para variables continuas como temperatura, presión, concentración.
- **Fórmula para proporciones:** Ecuación $n = Z^2 \cdot p(1-p) / E^2$ donde Z es nivel de confianza, p es proporción estimada de característica, E es error máximo. Útil para fallas o defectos expresados en porcentaje.
- **Regla de Montgomery:** Recomendación práctica para ingeniería experimental: entre 3 y 5 réplicas por tratamiento en diseños experimentales clásicos, balanceando precisión estadística con recursos disponibles.
- **Réplicas:** Repeticiones del experimento bajo las mismas condiciones de tratamiento, aumentando la confiabilidad estadística y permitiendo estimar la variabilidad experimental.
- **Muestreo probabilístico:** Métodos donde todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, ofreciendo mayor validez estadística y permitiendo generalizar resultados a la población.

- **Aleatorio simple:** Tipo de muestreo probabilístico donde cada unidad tiene la misma probabilidad de selección. Ejemplo: seleccionar 20 mediciones de temperatura entre 200 registros mediante números aleatorios.
- **Muestreo sistemático:** Tipo de muestreo probabilístico donde se elige cada k -ésimo elemento de la población. Ejemplo: medir pH cada 10 minutos en un proceso continuo, o cada 5ª pieza en línea de producción.
- **Muestreo estratificado:** Tipo de muestreo probabilístico donde se divide la población en grupos homogéneos (estratos) y se selecciona muestra de cada estrato. Ejemplo: dividir muestras de agua en "aguas arriba", "zona media", "aguas abajo".
- **Muestreo por conglomerados:** Tipo de muestreo probabilístico donde la unidad seleccionada es un conjunto completo. Ejemplo: seleccionar 5 pozas completas dentro de un sistema de tratamiento de aguas.
- **Muestreo no probabilístico:** Métodos usados cuando no es posible obtener lista completa de población o cuando objetivo es exploratorio, sacrificando validez estadística por practicidad o accesibilidad.
- **Muestreo por conveniencia:** Tipo de muestreo no probabilístico donde se seleccionan elementos más accesibles. Usado en ingeniería cuando acceso es difícil, mediciones son costosas, o se trabaja con prototipos únicos.
- **Muestreo intencional:** Tipo de muestreo no probabilístico donde se eligen casos típicos o significativos según criterio del investigador, útil para estudios de caso o situaciones específicas de interés.
- **Muestreo por cuotas:** Tipo de muestreo no probabilístico donde se seleccionan unidades hasta completar proporciones definidas de cada categoría de interés.
- **Puntos de muestreo:** Ubicaciones específicas donde se realizan mediciones, seleccionados estratégicamente para obtener datos representativos del sistema completo según características técnicas de cada rama de ingeniería.
- **Representatividad de la muestra:** Capacidad de la muestra seleccionada para reflejar fielmente las características de la población total, permitiendo generalizar conclusiones con confianza estadística.
- **Validez estadística:** Propiedad de resultados obtenidos mediante muestreo probabilístico que permite realizar inferencias legítimas sobre la población, cuantificando la incertidumbre mediante intervalos de confianza.

💡 Ideas principales

1. En estudios científicos de ingeniería es necesario definir tres elementos fundamentales: qué se va a estudiar (objeto de investigación); qué elementos forman parte del universo de análisis (población); y qué parte de ese universo será medida (muestra).
2. Los conceptos de población, unidades de estudio y muestra permiten garantizar que los datos obtenidos sean representativos y válidos, asegurando que las conclusiones puedan generalizarse apropiadamente.

3. La población es el conjunto total de elementos que poseen una característica común que se desea estudiar. En ingeniería no siempre son personas, ampliando el concepto a elementos técnicos, muestras ambientales, y componentes de sistemas.
4. En ingeniería, la población puede ser: muestras de agua/aire/suelo, piezas mecánicas, lotes de producción, datos de temperatura, señales eléctricas, cargas de un puente, o ciclos de operación de una máquina.
5. La unidad de estudio es el elemento mínimo sobre el cual se realizan las mediciones: una muestra de 500mL de agua, una pieza metálica ensayada en tracción, una medición de ruido, un sensor funcionando durante un ciclo.
6. En investigaciones ingenieriles se trabaja frecuentemente con sistemas físicos (reactor, sistema de bombeo, servidor, motor, proceso, red eléctrica, tramo de avenida), donde la población equivale a todas las posibles condiciones del sistema o todas las unidades de tiempo/espacio donde se mide.
7. El tamaño de muestra en ingeniería depende de cuatro factores críticos: variabilidad del proceso (mayor variabilidad requiere más datos); precisión requerida (menor error requiere más datos); nivel de confianza (mayor confianza requiere más datos); y tipo de experimento (experimental requiere réplicas).
8. Para datos continuos se usa la fórmula $n = (Z \cdot \sigma / E)^2$ donde $Z=1.96$ para 95% de confianza, σ es la desviación estándar estimada del proceso, y E es el error máximo que estamos dispuestos a aceptar en nuestras mediciones.
9. Para proporciones (útil en fallas o defectos) se usa $n = Z^2 \cdot p(1-p) / E^2$ donde p es la proporción estimada de la característica en la población (ejemplo: si esperamos 10% de defectos, $p=0.10$).
10. La regla práctica de Montgomery recomienda entre 3 y 5 réplicas por tratamiento en diseños experimentales clásicos, balanceando la necesidad de precisión estadística con los recursos disponibles (tiempo, costo, materiales).
11. El muestreo probabilístico (aleatorio simple, sistemático, estratificado, por conglomerados) ofrece mayor validez estadística porque todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, permitiendo cuantificar la incertidumbre.
12. El muestreo aleatorio simple da a cada unidad la misma probabilidad de selección, siendo ideal pero a veces impráctico. El sistemático (cada k -ésimo elemento) es más fácil de implementar y apropiado para procesos continuos.
13. El muestreo estratificado divide la población en grupos homogéneos y selecciona de cada estrato, garantizando representación de todas las zonas o condiciones del sistema (aguas arriba/media/abajo en un río).
14. El muestreo no probabilístico se utiliza cuando no es posible obtener una lista completa de la población, cuando el objetivo es exploratorio, o cuando restricciones prácticas lo requieren (acceso difícil, mediciones costosas, prototipos únicos).
15. La selección correcta de puntos de muestreo es clave para obtener datos representativos. En ingeniería ambiental: aguas arriba/media/abajo, puntos de descarga, puntos críticos por acumulación. En civil: columnas, vigas, losas, zonas de mayor esfuerzo.

16. En ingeniería química los puntos críticos son: entrada del reactor (condiciones iniciales); zona de mezcla (homogeneidad); salida del reactor (producto final); líneas de reciclaje (eficiencia del proceso).
17. En ingeniería mecánica: partes con mayor fricción (desgaste); zonas de vibración (fatiga); regiones térmicas críticas (expansión/contracción). En sistemas: servidor principal (carga); enlaces críticos (latencia); puntos de latencia (cuellos de botella).
18. En ingeniería industrial: cuellos de botella (limitación de flujo); estaciones con mayor tiempo de ciclo (ineficiencia); procesos con mayor variabilidad (inestabilidad que afecta calidad).
19. Los ejemplos de cálculo muestran aplicación práctica: calidad del agua con error ± 2 NTU y $\sigma = 5$ NTU requiere 25 datos; fallas del 10% con error $\pm 5\%$ requiere 139 piezas; diseño experimental con 3 tratamientos y 4 réplicas requiere 12 experimentos totales.
20. Un caso práctico completo integra todos los conceptos: definir población (niveles de ruido en avenida durante 2025); calcular muestra (28 mediciones por punto para error ± 1.5 dB); seleccionar 5 puntos estratégicos (alta congestión, media, instituciones educativas, con barrera, control); usar muestreo sistemático (cada 10 min, 3 horas); obtener resultado (mapa acústico + comparación estadística).

↪ Para recordar

✓ 3 Definiciones fundamentales:

- Qué estudiar + Qué elementos del universo + Qué parte medir.
- Garantiza datos Representativos y Válidos.

✓ Población = Conjunto total con característica común.

En ingeniería NO siempre son personas:

- Muestras: agua, aire, suelo.
- Elementos: piezas mecánicas, lotes producción.
- Datos: temperatura, señales eléctricas, cargas, ciclos.

✓ Unidad de estudio = Elemento mínimo donde se mide.

Ejemplos: 500mL agua | Pieza en tracción | Medición ruido | Sensor en ciclo.

✓ Sistemas físicos (concepto ingenieril):

Reactor | Bombeo | Servidor | Motor | Flotación | Red eléctrica | Avenida
 "Población" = Todas las condiciones del sistema o tiempo/espacio de medición.

✓ Tamaño de muestra depende de 4 factores:

- (1) Variabilidad proceso → Mayor variabilidad = Más datos.
- (2) Precisión requerida → Menor error = Más datos.
- (3) Nivel de confianza → Mayor confianza = Más datos.
- (4) Tipo experimento → Experimental = Réplicas.

✓ **Fórmulas:**

→ Datos Continuos: $n = (Z \cdot \sigma / E)^2$

$Z = 1.96$ (95% confianza) | $\sigma =$ Desviación estándar | $E =$ Error máximo.

→ Proporciones (fallas, defectos): $n = Z^2 \cdot p(1-p) / E^2$.

$p =$ Proporción estimada (10% defectos = 0.10).

✓ **Regla de Montgomery:** 3-5 réplicas por tratamiento (diseño experimental).

✓ **Muestreo Probabilístico** (mayor validez estadística):

(1) Aleatorio simple: Cada unidad igual probabilidad.

(2) Sistemático: Cada k-ésimo elemento (cada 10 min, cada 5ª pieza).

(3) Estratificado: Divide en grupos homogéneos (arriba/media/abajo).

(4) Conglomerados: Selecciona conjuntos completos (5 pozas enteras)

→ Todos elementos = Misma probabilidad → Cuantifica incertidumbre.

✓ **Muestreo No Probabilístico** (practicidad):

• Por Conveniencia: Más accesibles.

• Intencional: Casos típicos o significativos.

• Por Cuotas: Completa proporciones.

• Bola de nieve: Un caso → Otro (social).

Usado cuando: Acceso difícil | Mediciones costosas | Prototipos únicos.

✓ **Puntos de muestreo por rama:**

Ambiental: Aguas arriba/media/abajo | Descarga | Puntos críticos.

Civil: Columnas | Vigas | Losas | Zonas mayor esfuerzo.

Química: Entrada reactor | Zona mezcla | Salida | Líneas reciclaje.

Mecánica: Mayor fricción | Vibración | Regiones térmicas.

Sistemas: Servidor principal | Enlaces críticos | Latencia.

Industrial: Cuellos botella | Mayor tiempo ciclo | Mayor variabilidad.

✓ **Ejemplos rápidos:**

• Agua (± 2 NTU, $\sigma=5$) → $n = 25$ datos.

• Fallas 10% ($\pm 5\%$) → $n = 139$ piezas.

• 3 tratamientos \times 4 réplicas → $n = 12$ experimentos.

✓ **Representatividad:** Muestra refleja población → Generalizar conclusiones.

■ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te guiarán en la definición precisa de tu población, cálculo del tamaño de muestra, selección del método de muestreo apropiado, y determinación de puntos estratégicos de medición para tu investigación específica.

Ejercicio 1: Definición de población y unidades de estudio: Define claramente para tu investigación: (a) Población: Describe el conjunto total de elementos que poseen la característica que estudias. Si es sistema físico, especifica todas las posibles condiciones o unidades de tiempo/espacio. Incluye delimitación temporal (¿qué período?) y espacial (¿qué zona/sistema?). (b) Unidad de estudio: Especifica el elemento mínimo sobre el cual realizarás mediciones (una muestra de X mL, una pieza, una medición, un ciclo). Incluye unidades exactas. (c) Justifica por qué esta definición es apropiada para tus objetivos (3-4 líneas).

Ejercicio 2: Identificación de parámetros para cálculo de muestra: Identifica los parámetros necesarios para calcular tu tamaño de muestra: (a) ¿Tu variable es continua (temperatura, presión, concentración) o es proporción (% defectos, % fallas)? Esto determina qué fórmula usar. (b) Nivel de confianza deseado: ¿95% ($Z=1.96$) o 99% ($Z=2.58$)? Justifica tu elección. (c) Error máximo aceptable (E): Especifica cuánto error toleras en tus mediciones ($\pm X$ unidades). (d) Para continuas: estima Desviación estándar (σ) mediante estudio piloto, literatura o datos previos. Para proporciones: estima p (proporción esperada).

Ejercicio 3: Cálculo del tamaño de muestra: Realiza el cálculo completo de tu tamaño de muestra usando la fórmula apropiada: Si variable Continua: $n = (Z \cdot \sigma / E)^2$. Si Proporción: $n = Z^2 \cdot p(1-p) / E^2$. (a) Escribe la fórmula que usarás. (b) Sustituye los valores que identificaste en el ejercicio anterior. (c) Realiza el cálculo paso a paso mostrando operaciones. (d) Redondea hacia arriba al entero superior. (e) Interpreta: "Se requieren ___ mediciones/muestras/datos para garantizar un error máximo de \pm ___ con ___ % de confianza".

Ejercicio 4: Aplicación de la Regla de Montgomery: Si tu estudio es experimental con diferentes tratamientos o condiciones: (a) ¿Cuántos tratamientos o niveles de tu variable independiente probarás? (b) Según la regla de Montgomery, ¿cuántas réplicas harás por tratamiento? (3, 4 o 5 - justifica tu elección). (c) Calcula el número total de experimentos: $n = (\text{número de tratamientos}) \times (\text{réplicas por tratamiento})$. (d) ¿Este número es factible con tus recursos disponibles? Si no, ¿cómo ajustarás? Si tu estudio NO es experimental, explica por qué esta regla no aplica.

Ejercicio 5: Selección del método de muestreo: Determina el método más apropiado para tu estudio: (a) ¿Puedes obtener una lista completa de tu población? ¿Tienes acceso a todos los elementos? (b) ¿Necesitas validez estadística para generalizar o es estudio exploratorio? (c) ¿Hay restricciones de acceso, costo o tiempo? (d) Con base en estas respuestas, selecciona: Probabilístico (aleatorio simple, sistemático, estratificado, conglomerados) o No Probabilístico (conveniencia, intencional, cuotas). (e) Justifica tu selección específicamente (4-5 líneas).

Ejercicio 6: Diseño del procedimiento de muestreo: Detalla cómo implementarás el muestreo seleccionado: Si Aleatorio Simple: ¿Cómo generarás números aleatorios? Si Sistemático: ¿Cuál será tu k ? (cada k -ésimo elemento) ¿Cómo determinas el primer elemento? Si Estratificado: ¿Cuáles son tus estratos? ¿Cuántas muestras de cada estrato? Si Conglomerados: ¿Cuáles son los conglomerados? ¿Cuántos seleccionarás? Si No Probabilístico: ¿Cuáles son los criterios de selección específicos? Describe el procedimiento paso a paso (6-8 pasos).

Ejercicio 7: Selección de puntos de muestreo específicos: Identifica los puntos exactos donde realizarás mediciones según tu rama: (a) Revisa la lista de puntos críticos del capítulo para tu rama (ambiental, civil, química, mecánica, sistemas, industrial). (b) Selecciona 3-5 puntos específicos relevantes para tu sistema. (c) Para cada punto especifica: ubicación exacta, por qué es importante para tu estudio, qué variable medirás allí. (d) Si aplica, incluye croquis o coordenadas. Asegúrate de que los puntos permitan caracterizar todo el sistema.

Ejercicio 8: Verificación de representatividad: Evalúa si tu muestra será representativa: (a) ¿El tamaño de muestra calculado es suficiente para la variabilidad esperada de tu proceso? (b) ¿Los puntos de muestreo cubren todas las zonas/condiciones importantes del sistema? (c) ¿Hay alguna zona, tiempo o condición que NO estará representada? Si es así, ¿esto afecta tus conclusiones? (d) ¿El método de muestreo evita sesgos sistemáticos? (e) Si detectas problemas de representatividad, ¿cómo los corregirás?

Ejercicio 9: Análisis de factibilidad: Evalúa la factibilidad práctica de tu plan de muestreo: (a) Tiempo: ¿Cuánto tiempo tomará recolectar todas las muestras/datos? ¿Es realista en tu cronograma? (b) Costo: ¿Cuánto costará (materiales, reactivos, análisis de laboratorio, uso de equipos)? ¿Tienes presupuesto? (c) Acceso: ¿Tienes permisos/autorizaciones para acceder a los puntos de muestreo? (d) Equipos: ¿Están disponibles los instrumentos necesarios? ¿Cuándo? (e) Si no es factible, ¿cómo ajustarás el plan sin comprometer validez?

Ejercicio 10: Redacción de la sección población y muestra: Redacta la sección completa para tu proyecto siguiendo esta estructura: Párrafo 1: Define población con delimitación temporal y espacial (3-4 líneas). Párrafo 2: Define unidades de estudio (2-3 líneas). Párrafo 3: Presenta cálculo de tamaño de muestra con fórmula, valores y resultado (4-5 líneas). Párrafo 4: Describe método de muestreo seleccionado y justifica (3-4 líneas). Párrafo 5: Especifica puntos de muestreo y frecuencia de medición (3-4 líneas). Usa lenguaje técnico apropiado y cita las fórmulas usadas.

→ **Siguiente paso**

¡Excelente trabajo! Has definido tu población, calculado el tamaño de muestra necesaria, seleccionado el método de muestreo apropiado, y determinado los puntos estratégicos donde realizarás las mediciones. Ahora sabes **qué** estudiarás, **cuánto** medirás y **dónde** lo harás. El siguiente paso es definir **con qué** y **cómo** recolectarás esos datos.

En el Capítulo 10 - "Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos", aprenderás a seleccionar y diseñar los instrumentos adecuados para recolectar datos con precisión, validez y confiabilidad. Este capítulo es fundamental porque la calidad de tus resultados depende directamente de los instrumentos utilizados.

Conocerás las técnicas e instrumentos principales. Las **encuestas técnicas** son instrumentos estructurados para obtener información cuantitativa o cualitativa sobre comportamientos, percepciones o características, con tipos estructuradas, semiestructuradas, autoaplicadas y aplicadas por entrevistador. Las **entrevistas** permiten recopilar información profunda mediante interacción directa, útiles para conocimiento de procedimientos, experiencias de operadores y percepciones sobre riesgos. La **observación estructurada** registra comportamientos o condiciones usando listas de verificación, ideal para inspecciones ambientales, auditorías de seguridad y evaluación de cumplimiento.

Aprenderás sobre instrumentos especializados. Las **fichas técnicas** permiten registrar información objetiva de equipos, instalaciones, procesos o ambientes, con tipos de inspección ambiental, fichas de equipos y fichas de procesos. El **uso de sensores** (temperatura, presión, flujo, ruido, calidad de aire) es fundamental en investigaciones experimentales, con tipos

específicos: termopares y RTD para temperatura, piezorresistivos para presión, electromagnéticos/ultrasónicos para flujo, sonómetros clase 1 y 2 para ruido, PM2.5/CO/CO₂/O₃/VOC para calidad de aire.

Dominarás las buenas prácticas de medición: verificar certificación del equipo, calibrar antes y después del muestreo, registrar condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura, presión), garantizar trazabilidad metrológica según ISO/IEC 17025:2017.

Conocerás los **protocolos de medición** que aseguran repetibilidad y reproducibilidad, con estructura de 6 elementos: objetivo de medición, instrumento utilizado (clase, rango, fecha de calibración), procedimiento paso a paso, control de calidad interno y externo, frecuencia de medición, criterios de aceptación/rechazo de datos. Conocerás protocolos normativos específicos: ISO 1996-2:2017 para ruido ambiental, EPA 40 CFR Part 58 para calidad de aire, APHA (2017) para monitoreo de aguas.

Aprenderás sobre **validación y confiabilidad** de instrumentos. La validez incluye validez de contenido (expertos revisan pertinencia); validez de constructo (análisis factorial); validez de criterio (correlaciones contra patrones). La confiabilidad incluye Alfa de Cronbach (≥ 0.70 aceptable); test-retest (estabilidad temporal); confiabilidad interobservador (coeficientes Kappa o ICC). Para sensores: certificación del fabricante, comprobación de deriva, control de calidad metrológico.

El capítulo incluye formatos listos para usar: ejemplos de fichas de inspección ambiental, cuestionarios técnicos con escalas validadas, y protocolos de medición paso a paso siguiendo normas internacionales.

Prepárate para diseñar o seleccionar los instrumentos que garantizarán la calidad y confiabilidad de tus datos, asegurando reproducibilidad y trazabilidad de resultados.



¡Felicitaciones por completar el Capítulo 9!

Has definido tu población, calculado tu muestra y seleccionado puntos de muestreo.

Ahora es momento de diseñar los instrumentos para recolectar datos con calidad.

Capítulo 10

**Técnicas
e instrumentos
de recolección
de datos**

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La calidad de los resultados de una investigación depende directamente de la precisión, validez y confiabilidad de los instrumentos utilizados para recolectar los datos. En ingeniería, ciencias ambientales, química, investigación social y estudios experimentales, la selección y el diseño de instrumentos adecuados es fundamental para asegurar la reproducibilidad y trazabilidad de los resultados (Hernández y Mendoza, 2018).

Figura 11

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.



Este capítulo presenta las principales técnicas e instrumentos utilizados, sus características, protocolos de uso y ejemplos aplicados.

¿Qué es una técnica de Recolección de Datos?

Es el procedimiento o estrategia particular que utiliza el investigador para obtener la información. Representa el camino metodológico que se sigue para acercarse al fenómeno de estudio.

- Ejemplos: La encuesta, la entrevista, la observación directa, el análisis documental.

¿Qué es un instrumento de Recolección de Datos?

Es el recurso concreto, soporte o dispositivo que se emplea para registrar, medir o almacenar la información obtenida mediante la técnica. Es el objeto real que el investigador utiliza para recolectar datos.

- Ejemplos: Un cuestionario impreso, una guía de entrevista, una ficha de campo, un sensor de turbidez.

10.1. Encuestas técnicas

Las encuestas técnicas son instrumentos estructurados diseñados para obtener información cuantitativa o cualitativa respecto a comportamientos, percepciones o características específicas de una población objetivo (Babbie, 2020). En ingeniería y ciencias ambientales, se aplican para:

- Identificar prácticas operativas en procesos industriales.
- Recoger datos sobre percepciones de ruido, calidad ambiental o riesgos laborales.
- Evaluar satisfacción o nivel de cumplimiento normativo.

Tipos de encuestas técnicas

- **Estructuradas:** Preguntas cerradas, respuestas predeterminadas.
- **Semiestructuradas:** Combinan preguntas cerradas y abiertas.

- **Autoaplicadas:** Respondidas sin intervención del encuestador.
- **Aplicadas por entrevistador:** permiten reducir errores de interpretación.

Recomendaciones de diseño

- Definir variables e indicadores antes de crear las preguntas.
- Utilizar escalas validadas (Likert, diferencial semántico).
- Incluir preguntas de control para identificar inconsistencias.

10.2. Entrevistas

La entrevista es una técnica que permite recopilar información profunda mediante interacción directa entre investigador e informante. En ingeniería organizacional, gestión ambiental y procesos industriales, permiten obtener datos sobre:

- Conocimiento de procedimientos técnicos.
- Experiencias de operadores o supervisores.
- Percepciones sobre riesgos o desempeño de equipos (Kvale, 2011).

Tipos de entrevistas

- **Estructuradas:** Guion rígido.
- **Semiestructuradas:** Permiten flexibilidad para profundizar.
- **A profundidad:** Utilizadas para estudios cualitativos complejos.

Ventajas

- Recogen información rica y contextual.
- Permiten explorar causas, motivos y procesos.

Limitaciones

- Requieren alta capacidad técnica del entrevistador.
- Pueden introducir sesgos si no se usa un guion validado.

10.3. Observación estructurada

La observación estructurada consiste en registrar comportamientos o condiciones utilizando listas de verificación o matrices previamente diseñadas. Es muy utilizada en:

- Inspecciones ambientales.
- Auditorías de seguridad.
- Evaluación de cumplimiento de procedimientos operativos.
- Medición de tiempos y movimientos (Kerlinger y Lee, 2002).

Componentes esenciales

- Lista de criterios observables.
- Escalas de cumplimiento (sí/no; porcentual; ordinal).
- Procedimiento estandarizado para minimizar la subjetividad.

10.4. Fichas técnicas e inspecciones

Las fichas técnicas son instrumentos que permiten registrar información objetiva de equipos, instalaciones, procesos o ambientes. Son ampliamente usadas en ingeniería y monitoreo ambiental.

Tipos de fichas técnicas

- **Fichas de inspección ambiental:** Verifican cumplimiento normativo.
- **Fichas de equipos:** Detallan condiciones operativas, calibración y mantenimiento.
- **Fichas de procesos:** Registran variables críticas: caudal, presión, temperatura, ruido, etc.

Elementos básicos

- Estructura estandarizada.
- Variables definidas operacionalmente.
- Indicaciones para calibración y medición.
- Firma y código único para trazabilidad (ISO 9001, 2015).

10.5. Uso de sensores (temperatura, presión, flujo, ruido, calidad de aire, etc.)

La instrumentación basada en sensores es fundamental en investigaciones experimentales, monitoreo ambiental, procesos industriales y estudios acústicos.

Tipos de sensores más comunes

- **Temperatura:** termopares, RTD.
- **Presión:** sensores piezorresistivos.
- **Flujo:** caudalímetros electromagnéticos, ultrasónicos.
- **Ruido:** sonómetros clase 1 y 2 (IEC 61672-1:2013).
- **Calidad de aire:** PM2.5, CO, CO₂, O₃, VOC.

Buenas prácticas

- Verificar la certificación del equipo.
- Calibrar antes y después del muestreo.
- Registrar condiciones ambientales (HR, T°, presión).
- Garantizar trazabilidad metrológica (ISO/IEC 17025, 2017).

10.6. Protocolos de medición

Los protocolos de medición aseguran la repetibilidad y reproducibilidad de los datos.

Su estructura debe incluir:

1. Objetivo de la medición.
2. Instrumento utilizado, clase, rango y fecha de calibración.
3. Procedimiento paso a paso.
4. Control de calidad interno y externo
5. Frecuencia de medición.
6. Criterios de aceptación y rechazo de datos.

Ejemplos de protocolos normativos:

- **Ruido ambiental:** ISO 1996-2:2017.
- **Calidad de aire:** EPA 40 CFR Part 58.
- **Monitoreo de aguas:** APHA (2017).

10.7. Validación y confiabilidad de instrumentos

Para garantizar que los instrumentos recojan información válida y confiable, deben ser evaluados mediante:

A. Validez

La validez se refiere a la exactitud. Un instrumento es válido cuando mide realmente lo que pretende medir y no otra cosa.

- **Validez de contenido:** Expertos revisan pertinencia.
- **Validez de constructo:** Análisis factorial (Hair et al., 2019).
- **Validez de criterio:** Correlaciones o pruebas contra patrones.

B. Confiabilidad

La confiabilidad se refiere a la consistencia y estabilidad de una medida. Un instrumento es confiable si, al aplicarlo varias veces bajo las mismas condiciones, produce los mismos resultados.

- **Alfa de Cronbach:** Recomienda ≥ 0.70 para aceptabilidad.
- **Test–retest:** Estabilidad temporal.
- **Confiabilidad interobservador:** Coeficientes Kappa o ICC.

C.Para sensores

- Certificación del fabricante.
- Comprobación de deriva.
- Control de calidad metrológico.

10.8. Formatos y ejemplos

Ejemplo de ficha de inspección ambiental:

Título: Ficha técnica de inspección de emisiones sonoras.

Variables:

- Nivel SPL (dBA).
- Hora de medición.
- Distancia a la fuente.
- Condiciones meteorológicas.
- Modelo y clase del sonómetro.

Ejemplo de cuestionario técnico (fragmento):

1. ¿Con qué frecuencia utiliza EPP durante la operación de máquinas ruidosas?
 - Siempre
 - Casi siempre
 - A veces
 - Nunca

2. ¿Considera que el ruido afecta su desempeño?

- Sí / No

Ejemplo de protocolo de medición (resumen):

1. Calibrar el sonómetro con calibrador clase 1.
2. Seleccionar modo de ponderación A y FAST.
3. Realizar tres lecturas consecutivas por punto.
4. Registrar datos en formato estándar ISO 1996.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó las principales técnicas e instrumentos de recolección de datos, estableciendo que la calidad de los resultados de una investigación depende directamente de la precisión, validez y confiabilidad de los instrumentos utilizados, siendo fundamental para asegurar la reproducibilidad y trazabilidad de los resultados en ingeniería, ciencias ambientales, química, investigación social y estudios experimentales. Se presentaron cinco técnicas principales. Las **encuestas técnicas** son instrumentos estructurados diseñados para obtener información cuantitativa o cualitativa sobre comportamientos, percepciones o características específicas, aplicadas para identificar prácticas operativas, recoger datos sobre percepciones de ruido/calidad ambiental/riesgos laborales, y evaluar satisfacción o cumplimiento normativo, con cuatro tipos: estructuradas (preguntas cerradas); semiestructuradas (cerradas y abiertas); autoaplicadas (sin encuestador), y aplicadas por entrevistador (reduce errores); con recomendaciones de definir variables antes de crear preguntas, utilizar escalas validadas (Likert, diferencial semántico), e incluir preguntas de control. Las **entrevistas** permiten recopilar información profunda mediante interacción directa investigador-informante, útiles para conocimiento de procedimientos técnicos, experiencias de operadores/supervisores, y percepciones sobre riesgos o desempeño, con tres tipos: estructuradas (guion rígido), semiestructuradas (flexibilidad para profundizar), y a profundidad (estudios cualitativos complejos), con ventajas de información rica y contextual pero limitaciones de requerir alta capacidad técnica y posibles sesgos. La **observación estructurada** registra comportamientos o condiciones usando listas de verificación o matrices, utilizada en inspecciones ambientales, auditorías de seguridad, evaluación de cumplimiento y medición de tiempos y movimientos, con componentes de lista de criterios

observables, escalas de cumplimiento (sí/no, porcentual, ordinal), y procedimiento estandarizado. Las **fichas técnicas** registran información objetiva de equipos, instalaciones, procesos o ambientes, con tres tipos: inspección ambiental (cumplimiento normativo); fichas de equipos (condiciones operativas, calibración, mantenimiento); fichas de procesos (variables críticas: caudal, presión, temperatura, ruido), con elementos básicos de estructura estandarizada, variables operacionalmente definidas, indicaciones de calibración/medición, y firma/código único para trazabilidad (ISO 9001:2015). El **uso de sensores** es fundamental en investigaciones experimentales, monitoreo ambiental, procesos industriales y estudios acústicos, con tipos principales: temperatura (termopares, RTD); presión (piezorresistivos); flujo (electromagnéticos, ultrasónicos); ruido (sonómetros clase 1 y 2 según IEC 61672-1:2013); calidad de aire (PM2.5, CO, CO₂, O₃, VOC), con buenas prácticas de verificar certificación, calibrar antes/después del muestreo, registrar condiciones ambientales (HR, T°, presión), y garantizar trazabilidad metrológica (ISO/IEC 17025:2017). Se explicaron los **protocolos de medición** que aseguran repetibilidad y reproducibilidad con seis elementos: objetivo de medición, instrumento utilizado (clase, rango, fecha calibración), procedimiento paso a paso, control de calidad interno/externo, frecuencia de medición, criterios de aceptación/rechazo de datos, con ejemplos de protocolos normativos: ISO 1996-2:2017 para ruido ambiental, EPA 40 CFR Part 58 para calidad de aire, APHA (2017) para monitoreo de aguas. Se presentó la **validación y confiabilidad** de instrumentos con tres aspectos: validez (contenido por expertos, constructo por análisis factorial, criterio por correlaciones); confiabilidad (Alfa de Cronbach ≥ 0.70 , test-retest, interobservador con Kappa/ICC); y para sensores (certificación fabricante, comprobación deriva, control metrológico). Finalmente, se proporcionaron formatos y ejemplos aplicados: ficha de inspección ambiental con variables específicas, cuestionario técnico con escalas, y protocolo de medición paso a paso siguiendo normas ISO 1996.

🔑 Conceptos clave

- **Precisión de instrumentos:** Capacidad del instrumento para proporcionar mediciones cercanas al valor verdadero, minimizando errores sistemáticos y aleatorios en la recolección de datos.
- **Validez de instrumentos:** Grado en que el instrumento mide realmente lo que pretende medir, asegurando que los datos recolectados sean pertinentes y apropiados para los objetivos de investigación.

- **Confiabilidad de instrumentos:** Consistencia y estabilidad de las mediciones obtenidas por el instrumento, garantizando que mediciones repetidas bajo las mismas condiciones produzcan resultados similares.
- **Reproducibilidad:** Capacidad de obtener los mismos resultados cuando diferentes investigadores replican el estudio usando los mismos instrumentos y procedimientos bajo condiciones similares.
- **Trazabilidad:** Propiedad que permite documentar el historial completo de una medición o dato, desde su origen hasta el resultado final, mediante registros verificables y código único según ISO 9001:2015.
- **Encuestas técnicas:** Instrumentos estructurados diseñados para obtener información cuantitativa o cualitativa respecto a comportamientos, percepciones o características específicas de una población objetivo mediante preguntas sistemáticas.
- **Encuesta estructurada:** Tipo de encuesta con preguntas cerradas y respuestas predeterminadas, facilitando el análisis cuantitativo y la estandarización de datos recolectados.
- **Encuesta semiestructurada:** Tipo de encuesta que combina preguntas cerradas y abiertas, permitiendo obtener datos cuantificables y también capturar información cualitativa detallada.
- **Escalas validadas:** Instrumentos de medición psicométrica probados estadísticamente como escala Likert (grado de acuerdo) y diferencial semántico (evaluación entre polos opuestos), con confiabilidad y validez demostrada.
- **Entrevistas:** Técnica que permite recopilar información profunda mediante interacción directa entre investigador e informante, útil para explorar conocimiento de procedimientos, experiencias y percepciones en contextos ingenieriles.
- **Entrevista estructurada:** Tipo de entrevista con guion rígido y preguntas predeterminadas, asegurando consistencia en la recolección de información pero con menor flexibilidad para explorar temas emergentes.
- **Entrevista semiestructurada:** Tipo de entrevista que combina preguntas predeterminadas con flexibilidad para profundizar en temas de interés, balanceando estructura con capacidad de exploración.
- **Observación estructurada:** Técnica que consiste en registrar comportamientos o condiciones utilizando listas de verificación o matrices previamente diseñadas, minimizando subjetividad mediante procedimiento estandarizado.
- **Lista de verificación (checklist):** Instrumento de observación estructurada que contiene criterios observables específicos con escalas de cumplimiento (sí/no, porcentual, ordinal) para evaluación sistemática.
- **Fichas técnicas:** Instrumentos que permiten registrar información objetiva de equipos, instalaciones, procesos o ambientes con estructura estandarizada, variables operacionalmente definidas, y elementos para trazabilidad.
- **Ficha de inspección ambiental:** Tipo de ficha técnica diseñada para verificar cumplimiento normativo en aspectos ambientales, registrando variables como emisiones, niveles de contaminantes y condiciones del entorno.

- **Sensores:** Dispositivos de instrumentación que detectan y miden magnitudes físicas o químicas, convirtiendo señales físicas en señales eléctricas cuantificables para investigaciones experimentales y monitoreo.
- **Termopares:** Sensores de temperatura basados en efecto Seebeck, generando voltaje proporcional a diferencia de temperatura entre dos uniones de metales diferentes, ampliamente usados en rangos amplios de temperatura.
- **RTD (Resistance Temperature Detector):** Sensores de temperatura basados en cambio de resistencia eléctrica de un metal con la temperatura, ofreciendo alta precisión y estabilidad en mediciones de temperatura.
- **Sonómetros clase 1 y 2:** Instrumentos de medición de ruido según norma IEC 61672-1:2013, donde clase 1 ofrece mayor precisión (± 1 dB) para investigación científica y clase 2 (± 2 dB) para mediciones generales.
- **Calibración:** Proceso de verificar y ajustar un instrumento de medición contra un estándar conocido, garantizando precisión de mediciones y trazabilidad metrológica antes y después del muestreo.
- **Protocolos de medición:** Documentos que aseguran repetibilidad y reproducibilidad de datos mediante procedimientos estandarizados que incluyen objetivo, instrumento, procedimiento paso a paso, control de calidad, frecuencia y criterios de aceptación/rechazo.
- **Validez de contenido:** Evaluación por expertos de la pertinencia y representatividad de los ítems del instrumento respecto al constructo que se pretende medir, verificando que cubra adecuadamente el dominio de interés.
- **Validez de constructo:** Evaluación mediante análisis factorial de si el instrumento mide el concepto teórico que pretende medir, verificando estructura interna y relaciones entre variables latentes.
- **Alfa de Cronbach:** Coeficiente estadístico que mide la consistencia interna de un instrumento, con valores entre 0 y 1, donde ≥ 0.70 indica confiabilidad aceptable para investigación.
- **Test-retest:** Método de evaluación de confiabilidad que consiste en aplicar el mismo instrumento a los mismos sujetos en dos momentos diferentes, evaluando estabilidad temporal de las mediciones.
- **Trazabilidad metrológica:** Propiedad de mediciones que permite relacionarlas con referencias nacionales o internacionales mediante cadena ininterrumpida de calibraciones documentadas según ISO/IEC 17025:2017.

💡 Ideas principales

1. La calidad de los resultados de una investigación depende directamente de tres propiedades de los instrumentos: precisión (cercanía al valor verdadero), validez (mide lo que pretende medir), y confiabilidad (consistencia de mediciones repetidas).
2. En ingeniería, ciencias ambientales, química y estudios experimentales, la selección y diseño de instrumentos adecuados es fundamental para asegurar dos propiedades críticas: reproducibilidad (otros investigadores obtienen mismos

resultados) y trazabilidad (documentación completa del historial de mediciones).

3. Las encuestas técnicas son instrumentos estructurados que obtienen información cuantitativa o cualitativa sobre comportamientos, percepciones o características específicas, siendo especialmente útiles en ingeniería para identificar prácticas operativas, recoger percepciones de ruido/calidad ambiental/riesgos laborales, y evaluar satisfacción o cumplimiento normativo.
4. Existen cuatro tipos de encuestas técnicas según estructura y aplicación: estructuradas (preguntas cerradas, respuestas predeterminadas, análisis cuantitativo fácil), semiestructuradas (combinan cerradas y abiertas, capturan datos cuanti y cuali), autoaplicadas (respondidas sin encuestador, mayor alcance, pero posibles errores de interpretación), y aplicadas por entrevistador (reducen errores, pero son más costosas).
5. Las recomendaciones para diseñar encuestas técnicas de calidad incluyen: definir variables e indicadores antes de crear preguntas (operacionalización previa), utilizar escalas validadas como Likert (grado de acuerdo: totalmente en desacuerdo a totalmente de acuerdo) o diferencial semántico (polos opuestos), e incluir preguntas de control para identificar inconsistencias en respuestas.
6. Las entrevistas permiten recopilar información profunda mediante interacción directa investigador-informante, siendo útiles en ingeniería organizacional, gestión ambiental y procesos industriales para obtener conocimiento de procedimientos técnicos, experiencias de operadores/supervisores, y percepciones sobre riesgos o desempeño de equipos.
7. Los tres tipos de entrevistas son: estructuradas (guion rígido, preguntas fijas, mayor estandarización); semiestructuradas (guion flexible, permiten profundizar en temas emergentes, balance entre estructura y exploración); y a profundidad (estudios cualitativos complejos, altamente exploratorias, requieren alta capacidad técnica del entrevistador).
8. Las entrevistas tienen ventajas importantes (recogen información rica y contextual, permiten explorar causas/motivos/procesos, capturan detalles que instrumentos estructurados no detectan) pero también limitaciones críticas (requieren alta capacidad técnica del entrevistador, pueden introducir sesgos si no se usa guion validado, son más lentas y costosas que encuestas).
9. La observación estructurada registra comportamientos o condiciones usando listas de verificación o matrices previamente diseñadas, siendo muy utilizada en inspecciones ambientales, auditorías de seguridad, evaluación de cumplimiento de procedimientos operativos, y medición de tiempos y movimientos en ingeniería industrial.
10. Los componentes esenciales de la observación estructurada son: lista de criterios observables específicos y objetivos (qué exactamente observar), escalas de cumplimiento claras (sí/no para verificación binaria, porcentual para grado de cumplimiento, ordinal para categorías ordenadas), y procedimiento estandarizado para minimizar la subjetividad del observador.
11. Las fichas técnicas son instrumentos que registran información objetiva de equipos, instalaciones, procesos o ambientes, siendo ampliamente usadas en ingeniería y monitoreo ambiental con tres tipos específicos: inspección

ambiental (verifican cumplimiento normativo de emisiones, descargas, niveles de contaminantes); fichas de equipos (detallan condiciones operativas, historial de calibración, mantenimiento preventivo/correctivo); y fichas de procesos (registran variables críticas como caudal, presión, temperatura, ruido durante operación).

12. Los elementos básicos de toda ficha técnica son: estructura estandarizada (formato uniforme que facilita comparaciones); variables definidas operacionalmente (especificación clara de qué y cómo medir); indicaciones para calibración y medición (procedimiento paso a paso); y firma/código único para trazabilidad según ISO 9001:2015 (documentación de quién, cuándo, dónde).
13. La instrumentación basada en sensores es fundamental en investigaciones experimentales, monitoreo ambiental, procesos industriales y estudios acústicos, permitiendo mediciones precisas, continuas y automatizadas de variables físicas y químicas que serían imposibles o imprácticas de medir manualmente.
14. Los cinco tipos de sensores más comunes en ingeniería son: temperatura (termopares para rangos amplios, RTD para alta precisión); presión (piezorresistivos que cambian resistencia con presión aplicada); flujo (electromagnéticos para líquidos conductivos, ultrasónicos para diversos fluidos); ruido (sonómetros clase 1 para investigación ± 1 dB, clase 2 para mediciones generales ± 2 dB según IEC 61672-1:2013); calidad de aire (sensores específicos para PM_{2.5}, CO, CO₂, O₃, VOC).
15. Las buenas prácticas para uso de sensores incluyen cuatro elementos obligatorios: verificar certificación del equipo (validación del fabricante, cumplimiento de normas); calibrar antes y después del muestreo (garantizar precisión al inicio y detectar deriva al final); registrar condiciones ambientales (HR, T°, presión atmosférica que pueden afectar mediciones); y garantizar trazabilidad metrológica según ISO/IEC 17025:2017 (documentar cadena de calibraciones).
16. Los protocolos de medición aseguran repetibilidad (mismos resultados con mismo procedimiento) y reproducibilidad (mismos resultados con diferentes investigadores) mediante documentación estructurada de seis elementos obligatorios: objetivo de la medición (qué se busca determinar); instrumento utilizado con especificaciones completas (clase, rango, fecha de calibración); procedimiento detallado paso a paso (sin ambigüedades); control de calidad interno y externo (verificaciones de precisión); frecuencia de medición (cada cuánto tiempo/espacio); y criterios claros de aceptación y rechazo de datos (límites de validez).
17. Existen protocolos normativos internacionales para mediciones específicas: ISO 1996-2:2017 para ruido ambiental (especifica equipos clase 1/2, procedimientos de medición, condiciones meteorológicas, procesamiento de datos); EPA 40 CFR Part 58 para calidad de aire (métodos de referencia para contaminantes criterio, ubicación de estaciones, frecuencia de muestreo); APHA (2017) para monitoreo de aguas (métodos estándar para análisis físicos, químicos y biológicos).

- 18.** La validación de instrumentos evalúa si miden lo que pretenden medir mediante tres tipos de validez: contenido (expertos revisan pertinencia de ítems, cobertura del dominio); constructo (análisis factorial verifica estructura teórica, relaciones entre variables latentes); y criterio (correlaciones o pruebas contra patrones establecidos, validez concurrente o predictiva).
- 19.** La confiabilidad de instrumentos evalúa consistencia mediante tres métodos: Alfa de Cronbach para consistencia interna (≥ 0.70 aceptable, ≥ 0.80 buena, ≥ 0.90 excelente, calcula correlación promedio entre ítems); test-retest para estabilidad temporal (aplicar dos veces, correlacionar resultados); y confiabilidad interobservador para objetividad (múltiples observadores, coeficientes Kappa para categorías o ICC para continuas).
- 20.** Para sensores, la validación y confiabilidad requieren tres verificaciones específicas: certificación del fabricante (especificaciones técnicas, cumplimiento de normas, trazabilidad de calibración de fábrica); comprobación de deriva (verificar que mediciones no cambien sistemáticamente con el tiempo mediante calibraciones periódicas); y control de calidad metrológico (comparación con estándares certificados, documentación de incertidumbres, verificación de exactitud y precisión).

⚡ Para recordar

✓ **Calidad de resultados** = Precisión + Validez + Confiabilidad de instrumentos.

✓ **Fundamental para:** Reproducibilidad + Trazabilidad.

✓ **5 Técnicas principales:**

(1) Encuestas técnicas:

→ Información cuantitativa/cualitativa sobre comportamientos, percepciones.

→ 4 tipos:

- Estructuradas: Cerradas, predeterminadas → Análisis cuantitativo.
- Semiestructuradas: Cerradas + Abiertas → Cuanti + Cual.
- Autoaplicadas: Sin encuestador → Mayor alcance.
- Por entrevistador: Reduce errores → Más costoso.

→ Recomendaciones: Definir variables antes | Escalas validadas

(Likert) | Preguntas control.

(2) Entrevistas:

→ Información profunda, interacción directa.

→ 3 TIPOS:

- Estructuradas: Guion rígido → Estandarización.
- Semiestructuradas: Flexibles → Balance estructura-exploración.
- A profundidad: Cualitativas complejas → Alta capacidad técnica.

→ Ventajas: Información rica + Explorar causas.

→ Limitaciones: Capacidad técnica + Posibles sesgos.

(3) Observación estructurada:

→ Listas verificación, matrices diseñadas.

→ Usos: Inspecciones ambientales | Auditorías seguridad | Cumplimiento | Tiempos-movimientos.

→ Componentes: Lista criterios observables | Escalas (sí/no, %, ordinal) | Procedimiento estandarizado.

(4) Fichas técnicas:

→ Información objetiva: equipos, instalaciones, procesos, ambientes.

→ 3 Tipos:

- Inspección ambiental: Cumplimiento normativo.
- Equipos: Condiciones, calibración, mantenimiento.
- Procesos: Variables críticas (caudal, presión, T°, ruido).

→ Elementos: Estructura estandarizada | Variables operacionales | Calibración/medición | Firma/código (ISO 9001).

(5) Sensores:

→ Instrumentación fundamental: experimentales, monitoreo, procesos, acústica.

→ 5 tipos comunes:

- Temperatura: Termopares (rango amplio) | RTD (alta precisión).
- Presión: Piezorresistivos.
- Flujo: Electromagnéticos (líquidos) | Ultrasónicos (diversos).
- Ruido: Sonómetros Clase 1 (± 1 dB investigación) | Clase 2 (± 2 dB general) [IEC 61672-1:2013].

- Calidad aire: PM2.5, CO, CO₂, O₃, VOC.

→ Buenas prácticas (4 obligatorias):

- (1) Verificar certificación.
- (2) Calibrar antes y después muestreo.
- (3) Registrar condiciones ambientales (HR, T°, presión).
- (4) Garantizar trazabilidad metrológica (ISO/IEC 17025:2017).

✓ **Protocolos de medición** (aseguran repetibilidad + reproducibilidad).

6 elementos obligatorios:

- (1) Objetivo medición.
- (2) Instrumento (clase, rango, fecha calibración).
- (3) Procedimiento paso a paso.
- (4) Control calidad interno/externo.
- (5) Frecuencia medición.
- (6) Criterios aceptación/rechazo datos.

→ Protocolos normativos: ISO 1996-2:2017 (ruido) | EPA 40 CFR Part 58 (aire) | APHA 2017 (agua).

✓ **Validación ¿mide lo que pretende?**

- Contenido: Expertos revisan pertinencia.
- Constructo: Análisis factorial (estructura).
- Criterio: Correlaciones vs patrones.

✓ **Confiabilidad ¿consistencia?**

- Alfa de Cronbach: ≥ 0.70 aceptable (consistencia interna).
- Test-Retest: Estabilidad temporal.
- Interobservador: Kappa/ICC.

✓ **Para sensores:**

- Certificación fabricante.
- Comprobación deriva.
- Control metrológico.

✓ **Trazabilidad** = Documentar historial completo (origen → resultado)
[ISO 9001:2015].

■ **Aplica lo aprendido**

Estos ejercicios te guiarán en la selección, diseño y validación de los instrumentos específicos que usarás para recolectar datos en tu investigación. Desarrollarás protocolos de medición y garantizarás la calidad de tus instrumentos.

Ejercicio 1: Selección de técnicas e instrumentos apropiados: Basándote en tus variables operacionalizadas (Capítulo 7), determina qué técnicas e instrumentos necesitas: (a) Para cada variable Independiente: ¿qué técnica/instrumento usarás? (encuesta, entrevista, observación, ficha técnica, sensor específico). (b) Para cada variable Dependiente: ¿qué técnica/instrumento usarás? (c) Si necesitas datos cualitativos (percepciones, experiencias): ¿entrevistas o encuestas abiertas? (d) Si necesitas datos de comportamiento: ¿observación estructurada? (e) Justifica cada selección explicando por qué es apropiada (5-7 líneas totales).

Ejercicio 2: Diseño de encuesta técnica (si aplica): Si tu estudio requiere encuesta, diseña una versión preliminar: (a) Tipo de encuesta: ¿estructurada, semiestructurada, autoaplicada o por entrevistador? Justifica. (b) Lista tus variables e indicadores que medirás con la encuesta. (c) Diseña 5-8 preguntas específicas para tu estudio, asegurándote de: usar escalas validadas (Likert 1-5, diferencial semántico), incluir al menos 1 pregunta de control para inconsistencias, definir variables antes de crear preguntas. (d) Especifica el formato de respuesta de cada pregunta.

Ejercicio 3: Diseño de guion de entrevista (si aplica): Si tu estudio requiere entrevistas, diseña el guion: (a) Tipo: ¿estructurada, semiestructurada o a profundidad? Justifica. (b) Objetivo de la entrevista: ¿qué información específica buscas obtener? (c) Diseña 6-10 preguntas principales organizadas por temas. (d) Para semiestructuradas: incluye 2-3 preguntas de profundización por tema ("¿puede explicar más sobre...?", "¿qué factores influyeron en...?"). (e) Especifica perfil del entrevistado (operadores, supervisores, expertos). (f) Estima duración de la entrevista.

Ejercicio 4: Diseño de lista de verificación (si aplica): Si usarás observación estructurada, diseña tu lista: (a) Especifica qué comportamientos o condiciones observarás (criterios observables específicos y objetivos). (b) Diseña una tabla con al menos 10 criterios a observar. (c) Para cada criterio, define la escala de cumplimiento: ¿sí/no?, ¿porcentual (0-100%)?, ¿ordinal (bajo-medio-alto)? (d) Incluye columna para observaciones adicionales. (e) Describe el procedimiento estandarizado: cuándo observar, por cuánto tiempo, qué posición adoptar para minimizar reactividad.

Ejercicio 5: Diseño de ficha técnica: Diseña una ficha técnica apropiada para tu estudio (inspección ambiental, equipo, o proceso): (a) Título de la ficha (específico). (b) Lista todas las variables que registrarás con sus unidades exactas. (c) Diseña la estructura: campos para fecha, hora, responsable, ubicación, condiciones ambientales. (d) Incluye sección para: nombre y clase del instrumento usado, fecha de calibración, rango de medición. (e) Agrega espacio para observaciones. (f) Incluye código único para trazabilidad (formato: XXXX-YYYY-#####). (g) Diseña formato de firma del responsable.

Ejercicio 6: Especificación técnica de sensores: Para cada sensor que usarás, especifica: (a) Nombre completo y modelo exacto del sensor/instrumento. (b) Tipo: ¿Temperatura (termopar/RTD)? ¿Presión (piezorresistivo)? ¿Flujo (electromagnético/ultrasónico)? ¿ruido (sonómetro clase 1 o 2)? ¿Calidad aire (cuál contaminante)? (c) Rango de medición del instrumento. (d) Precisión/Resolución especificada por fabricante. (e) ¿Tiene certificación? ¿De quién? (f) Fecha de última calibración y fecha de próxima calibración requerida. (g) Norma técnica aplicable (IEC, ISO, EPA, ASTM).

Ejercicio 7: Diseño de protocolo de medición: Diseña un protocolo completo para tu medición más importante siguiendo los 6 elementos: (1) Objetivo: Especifica qué determinarás con esta medición. (2) Instrumento: Modelo, clase, rango, fecha de calibración. (3) Procedimiento: Escribe 8-12 pasos detallados sin ambigüedades (desde preparación hasta registro de datos). (4) Control de Calidad: ¿Verificaciones antes/durante/después? ¿Calibración con qué estándar? ¿Blancos o duplicados? (5) Frecuencia: ¿Cada cuánto medirás? (tiempo o espacio). (6) Criterios: ¿Qué valores aceptas? ¿Cuándo rechazas un dato? ¿Qué haces con datos atípicos?

Ejercicio 8: Buenas prácticas de medición con sensores: Para tus sensores, planifica las buenas prácticas: (a) Certificación: ¿Dónde verificarás la certificación del fabricante? ¿Qué documento específico revisarás? (b) Calibración antes: ¿Con qué estándar calibrarás antes del muestreo? ¿Cuál es el procedimiento? ¿Quién lo hará? (c) Calibración después: ¿Verificarás deriva al final? ¿Cómo detectas si hubo cambios? (d) Condiciones ambientales: ¿Qué registrarás? (HR, T°, presión, viento). ¿Con qué instrumentos? (e) Trazabilidad: ¿Cómo documentarás la cadena de calibraciones según ISO/IEC 17025:2017?

Ejercicio 9: Validación de instrumentos: Planifica cómo validarás tus instrumentos: (a) Validez de contenido: ¿A qué 2-3 expertos consultarás para revisar pertinencia? ¿Qué les preguntarás específicamente? (b) Validez de constructo: Si aplica análisis factorial, ¿Cuántos ítems tienes? ¿Qué software usarás? Si no aplica, ¿Por qué? (c) Validez de criterio: ¿Contra qué patrón compararás tus mediciones? (mediciones previas, normas establecidas, otro instrumento validado). (d) Para sensores: ¿Cómo verificarás que miden correctamente? (comparación con estándar certificado, mediciones conocidas).

Ejercicio 10: Evaluación de confiabilidad: Planifica cómo evaluarás confiabilidad: (a) Si usas encuesta/cuestionario: ¿Calcularás Alfa de Cronbach? ¿Con qué software? ¿Qué valor mínimo aceptas (≥ 0.70)? (b) TEST-RETEST: ¿Aplicarás el instrumento dos veces? ¿Con qué intervalo de tiempo? ¿A cuántas unidades? (c) Interobservador: si usas observación, ¿Tendrás dos observadores independientes? ¿Calcularás Kappa o ICC? (d) Para sensores: ¿Cómo comprobarás deriva? (mediciones repetidas de estándar, verificaciones periódicas). (e) Si algún instrumento tiene confiabilidad < 0.70 , ¿qué harás?

→ Siguiente paso

¡Excelente trabajo! Has seleccionado y diseñado los instrumentos apropiados para recolectar tus datos con precisión, validez y confiabilidad. Tienes protocolos de medición detallados que aseguran reproducibilidad y trazabilidad. Ahora que sabes **cómo** recolectarás los datos, el siguiente paso es aprender **cómo** procesarlos y analizarlos para obtener conclusiones válidas.

En el Capítulo 11 - "Procesamiento y Análisis de Datos", aprenderás a transformar datos brutos en información útil para la toma de decisiones, validación de hipótesis y comprensión de fenómenos técnicos. Este capítulo es crítico porque incluso datos de alta calidad no sirven si no se procesan y analizan correctamente.

Comenzarás con la **limpieza y organización de datos** (data cleaning), el primer paso para garantizar calidad analítica. Aprenderás a detectar y corregir valores atípicos (outliers), valores faltantes, registros duplicados, errores de tipeo/unidades/codificación, e inconsistencias entre variables. Conocerás los 6 pasos recomendados: verificar unidades, revisar rangos aceptables según normas, identificar outliers mediante z-score o boxplot, codificar datos categóricos, homogeneizar formatos de fecha/hora, y eliminar duplicados. Aprenderás que entre 60-80% del tiempo de análisis se emplea en organizar y limpiar datos.

Dominarás la **estadística descriptiva** que permite sintetizar grandes volúmenes de datos en indicadores representativos. Conocerás medidas de tendencia central (media aritmética, mediana, moda), medidas de dispersión (varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, rango, rango intercuartílico), y medidas de forma (curtosis, asimetría), aplicándolas para evaluar variabilidad de procesos, comportamiento de materiales, fluctuaciones ambientales y estabilidad de sistemas.

Aprenderás las **pruebas estadísticas básicas** apropiadas según tipo de investigación y nivel de medición. Las pruebas paramétricas (t de Student para comparación de medias, ANOVA para tres o más grupos, correlación de Pearson, regresión lineal simple y múltiple) cuando datos cumplen supuestos de normalidad y homocedasticidad. Las pruebas no paramétricas (Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, Spearman, Chi-cuadrado) cuando datos no cumplen supuestos paramétricos.

Conocerás cómo realizar **análisis de varianza** (ANOVA) para diseños experimentales, entendiendo cuándo usar ANOVA de un factor (una variable independiente), factorial (dos o más variables independientes), o de medidas repetidas (mismos sujetos en diferentes condiciones).

Aprenderás sobre el **análisis de regresión** para modelar relaciones entre variables, incluyendo regresión lineal simple (una independiente),

múltiple (varias independientes), y evaluación de bondad de ajuste mediante R^2 (coeficiente de determinación).

El capítulo incluirá ejemplos aplicados con software estadístico (Excel, SPSS, R, Python), interpretación de resultados, y presentación apropiada de datos mediante tablas y gráficos profesionales.

Prepárate para convertir tus datos en resultados interpretables que respondan tus hipótesis y cumplan tus objetivos de investigación.



¡Felicitaciones por completar el Capítulo 10!

Has diseñado instrumentos válidos y confiables con protocolos de medición detallados.

Ahora es momento de aprender a procesar y analizar los datos que recolectarás.

Capítulo 11

**Procesamiento
y análisis de datos**

Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos constituye una fase crítica en toda investigación científica y tecnológica, pues permite transformar datos brutos en información útil para la toma de decisiones, la validación de hipótesis y la comprensión de fenómenos técnicos (Montgomery y Runger, 2018).

En ingeniería y ciencias ambientales, el análisis de datos se basa en métodos cuantitativos que permiten describir, modelar y predecir el comportamiento de variables físicas, químicas, ambientales u operativas.

11.1. Limpieza y organización de datos

La limpieza de datos (data cleaning) es el primer paso para garantizar la calidad analítica. Consiste en detectar y corregir:

- Valores atípicos (outliers).
- Valores faltantes.
- Registros duplicados.
- Errores de tipeo, unidades o codificación.
- Inconsistencias entre variables.

Según Kitchin y McArdle (2016), entre el 60% y 80% del tiempo de análisis se emplea en organizar y limpiar los datos.

Pasos recomendados

1. Verificar las unidades de medición (mg/L, dBA, m/s, °C, etc.).
2. Revisar rangos aceptables según normas técnicas.
3. Identificar outliers mediante z-score o boxplot.
4. Codificar datos categóricos (0/1, ordinales).
5. Homogeneizar formatos de fecha y hora.
6. Eliminar duplicados.

11.2. Estadística descriptiva para ingenieros

La estadística descriptiva permite sintetizar grandes volúmenes de datos en indicadores simples y representativos.

Medidas de tendencia central

- Media aritmética.
- Mediana.
- Moda.

Medidas de dispersión

- Varianza y desviación estándar.
- Coeficiente de variación.
- Rango y rango intercuartílico.

Medidas de forma

- Curtosis.
- Asimetría.

En ingeniería, estas métricas se aplican para evaluar variabilidad de procesos, comportamiento de materiales, fluctuaciones ambientales y estabilidad de sistemas (Devore, 2016).

11.3. Pruebas estadísticas básicas

Dependiendo del tipo de investigación y nivel de medición de las variables, se aplican diversas pruebas estadísticas.

Pruebas paramétricas

- t de Student (comparación de medias).
- ANOVA (diferencia entre tres o más grupos).
- Correlación de Pearson (r).
- Regresión lineal simple y múltiple.

Pruebas no paramétricas

- U de Mann–Whitney.
- Kruskal–Wallis.
- Correlación de Spearman.

Criterios de selección de prueba

- Normalidad de los datos (Shapiro–Wilk).
- Tamaño de muestra.
- Tipo de variable (nominal, ordinal, intervalar, razón).

Estas pruebas permiten evaluar hipótesis, determinar relaciones y modelar el comportamiento de sistemas técnicos (Hernández y Mendoza, 2018).

11.4. Uso de Excel

Excel sigue siendo una herramienta fundamental en ingeniería debido a su accesibilidad y capacidad de procesamiento básico.

Funciones clave

- PROMEDIO, MEDIANA, DESVEST, VAR.P, CONTAR.SI.
- Gráficos: líneas, barras, dispersión.
- Tablas dinámicas: resumen avanzado de datos.
- Análisis de datos: ANOVA, t-test, correlaciones.

Ventajas

- Accesible y ampliamente conocido.
- Integración con dispositivos de adquisición de datos.
- Ideal para análisis preliminares.

Limitaciones

- No adecuado para big data.
- Limitado en análisis multivariante avanzado.

11.5. Uso de Python

Python es una herramienta poderosa para análisis científico debido a su precisión, reutilización de código y capacidad de manejar grandes volúmenes de datos (McKinney, 2022).

Paquetes esenciales

- Pandas: Manejo y limpieza de datos.
- NumPy: Cálculos numéricos.

- SciPy: Estadísticas.
- Matplotlib: Gráficos.
- Scikit-learn: Modelos predictivos.

Ventajas

- Reproducibilidad.
- Automatización de procesos.
- Integración con sensores y hardware (Arduino, Raspberry).
- Ideal para ingeniería y análisis ambiental.

Ejemplo básico

- `import pandas as pd.`
- `df = pd.read_csv('ruido.csv').`
- `df.describe().`

11.6. Gráficos: lineales, barras, pasteles, dispersión, boxplot

La visualización de datos permite identificar patrones, tendencias y anomalías de manera rápida.

Gráfico de líneas

- Ideal para series temporales (ruido, temperatura, caudal).

Gráficos de barras

- Comparación entre categorías (zonas, materiales, equipos).

Gráficos de pastel

- Distribución porcentual.
- Útil para residuos sólidos o composición de emisiones.

Gráficos de dispersión (Scatterplot)

- Identificación de relaciones entre variables (ruido vs. distancia).

Boxplot

- Detecta outliers, mediana, IQR.
- Común en análisis de procesos y ensayos experimentales.

11.7. Interpretación técnica

La interpretación técnica consiste en convertir resultados estadísticos en conclusiones operativas, considerando principios de ingeniería, normativas y comportamiento físico del fenómeno analizado.

Criterios clave de interpretación

- Evaluar magnitud, dirección y significancia de relaciones.
- Comparar resultados con estándares técnicos (ISO, EPA, OMS).
- Relacionar variabilidad estadística con estabilidad del proceso.
- Identificar si los datos cumplen condiciones operativas seguras.
- La Validación Estadística en el Control de Procesos.

Nota: Para que un ingeniero pueda determinar si un proceso es estable o requiere intervención, no basta con observar los datos de manera aislada; se debe aplicar un criterio de validación estadística que sustente la decisión técnica. En este sentido, el uso de métricas de dispersión permite cuantificar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Ejemplo

Un caso representativo de este rigor se observa en el control de calidad industrial, donde se utiliza el Coeficiente de Variación como indicador crítico. Por ejemplo, un coeficiente de variación (CV) > 30% indica alta variabilidad del proceso y la necesidad inmediata de un control técnico, según los estándares de control estadístico propuestos por Montgomery (2020) en su obra sobre diseño y análisis de experimentos. Esta cita no solo ilustra la teoría, sino que establece un umbral técnico universal para la toma de decisiones en ingeniería.

11.8. Ejercicios paso a paso

Ejercicio 1. Cálculo de estadística descriptiva.

Datos de presión (psi):

160, 158, 161, 164, 159, 160

1. Media

En investigación e ingeniería, la media aritmética es la medida de tendencia central más utilizada para resumir un conjunto de datos cuantitativos. Se define como el valor obtenido al sumar todos los datos de una población o muestra y dividir el resultado entre el número total de elementos. Desde una perspectiva física, la media actúa como el "punto de equilibrio" de la distribución, permitiendo al investigador obtener un valor representativo que estabiliza las fluctuaciones individuales de las mediciones.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$(160 + 158 + 161 + 164 + 159 + 160) / 6 = \mathbf{160.33 \text{ psi}}$$

2. Desviación estándar

Para determinar la fiabilidad de un proceso y entender qué tan alejados se encuentran los datos respecto a su media, es imperativo aplicar el cálculo de la desviación

estándar poblacional (σ) o muestral (s). Esta métrica permite cuantificar la variabilidad técnica del sistema analizado.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$s = 2.05 \text{ psi}$

3. Interpretación

El sistema presenta **baja variabilidad** ($CV \approx 1.27\%$).

Ejercicio 2. Correlación entre ruido y distancia.

En ingeniería acústica y ambiental, entender cómo se atenúa el sonido es vital para el diseño de barreras o zonas de protección. A continuación, analizaremos la relación entre la distancia a una fuente emisora y el nivel de presión sonora registrado.

Organización de datos y variable del ejemplo:

- Distancia (m): 5, 10, 15, 20.
- Ruido (dBA): 92, 88, 82, 79.

Para hallar el grado de relación, aplicamos la fórmula de correlación de Pearson, que mide la dependencia lineal entre las dos variables:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X^2)][\sqrt{[n \sum Y^2 - (\sum Y^2)]}}$$

Correlación de Pearson $r \approx -0.97$

Interpretación:

El valor obtenido de -0.97 nos permite concluir lo siguiente:

Sentido de la relación: Es una **correlación negativa**, lo que indica una relación inversa (mientras una variable aumenta, la otra disminuye).

Fuerza de la relación: Al estar muy cerca de -1, la correlación es **extremadamente fuerte**.

Validación Física: Este resultado es coherente con la **ley del inverso del cuadrado**, que establece que la intensidad del sonido disminuye significativamente conforme el receptor se aleja de la fuente.

Ejercicio 3. Gráfico en Excel

1. Colocar datos en columnas.
2. Insertar → Dispersión (XY).
3. Agregar línea de tendencia.
4. Mostrar ecuación y R^2 .

Procesamiento y análisis de datos

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó el procesamiento y análisis de datos como fase crítica que permite transformar datos brutos en información útil para la toma de decisiones, validación de hipótesis y comprensión de fenómenos técnicos. Se estableció que, en ingeniería y ciencias ambientales, el análisis se basa en métodos cuantitativos que permiten describir, modelar y predecir el comportamiento de variables físicas, químicas, ambientales u operativas. Se presentó la **limpieza y organización de datos** (data cleaning) como primer paso para garantizar calidad analítica, consistiendo en detectar y corregir valores atípicos (outliers), valores faltantes, registros duplicados, errores de tipoo/unidades/codificación, e inconsistencias entre variables, con seis pasos recomendados: verificar unidades (mg/L, dBA, m/s, °C), revisar rangos aceptables según normas, identificar outliers mediante z-score o boxplot, codificar datos categóricos (0/1, ordinales), homogeneizar formatos de fecha/hora, y eliminar duplicados, enfatizando que entre 60-80% del tiempo de análisis se emplea en organizar y limpiar datos. Se explicó la **estadística descriptiva** que sintetiza grandes volúmenes en indicadores representativos mediante tres tipos de medidas: tendencia central (media aritmética, mediana, moda); dispersión (varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, rango, rango intercuartílico); y forma (curtosis, asimetría), aplicándose para evaluar variabilidad de procesos, comportamiento de materiales, fluctuaciones ambientales y estabilidad de sistemas. Se presentaron las **pruebas estadísticas básicas** según tipo de investigación y nivel de medición, divididas en paramétricas (t de Student para comparación de medias, ANOVA para tres o más grupos, correlación de Pearson r, regresión lineal simple y múltiple); y no paramétricas (U de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, correlación de Spearman), con criterios de selección basados en normalidad de datos (Shapiro-Wilk), tamaño de muestra, y tipo de variable (nominal, ordinal, intervalar, razón). Se explicó el **uso de Excel** como herramienta

fundamental por accesibilidad, con funciones clave (PROMEDIO, MEDIANA, DESVEST, VAR.P, CONTAR.SI), gráficos (líneas, barras, dispersión), tablas dinámicas y análisis de datos (ANOVA, t-test, correlaciones), destacando ventajas (accesible, integración con dispositivos) y limitaciones (no adecuado para big data, limitado en análisis multivariante). Se presentó el **uso de Python** como herramienta poderosa para análisis científico con paquetes esenciales: Pandas (manejo y limpieza); NumPy (cálculos numéricos); SciPy (estadísticas); Matplotlib (gráficos); Scikit-learn (modelos predictivos), con ventajas de reproducibilidad, automatización, integración con sensores (Arduino, Raspberry). Se explicaron los GRÁFICOS como herramientas de visualización: líneas (series temporales); barras (comparación categorías); pastel (distribución porcentual); dispersión (relaciones entre variables); boxplot (detecta outliers, mediana, IQR). Se presentó la **interpretación técnica** que convierte resultados estadísticos en conclusiones operativas considerando principios de ingeniería, normativas y comportamiento físico, con criterios de evaluar magnitud/dirección/significancia, comparar con estándares (ISO, EPA, OMS), relacionar variabilidad con estabilidad, e identificar cumplimiento de condiciones seguras. Finalmente, se proporcionaron tres ejercicios paso a paso: cálculo de estadística descriptiva (media 160.33 psi, desviación estándar 2.05 psi, CV 1.27% indica baja variabilidad), correlación entre ruido y distancia ($r=-0.97$ correlación negativa fuerte coherente con ley del inverso del cuadrado), y gráfico en Excel con línea de tendencia.

🔑 Conceptos clave

- **Procesamiento de datos:** Fase crítica que transforma datos brutos recolectados en información útil, estructurada y analizable para la toma de decisiones, validación de hipótesis y comprensión de fenómenos técnicos.
- **Análisis de datos:** Aplicación de métodos cuantitativos y cualitativos que permiten describir, modelar y predecir el comportamiento de variables físicas, químicas, ambientales u operativas en ingeniería y ciencias.
- **Limpieza de datos (data cleaning):** Primer paso para garantizar calidad analítica, consistiendo en detectar y corregir valores atípicos, valores faltantes, registros duplicados, errores de tipo/unidades/codificación e inconsistencias entre variables.
- **Valores atípicos (outliers):** Datos que difieren significativamente del resto de observaciones, pudiendo ser errores de medición o eventos excepcionales reales, identificables mediante z-score (valores >3 o <-3) o boxplot visual.
- **Valores faltantes:** Datos ausentes en el conjunto de datos por errores de registro, fallas de equipos o pérdida de información, requiriendo decisión de eliminar casos, imputar valores o analizar solo datos completos.

- **Codificación de datos categóricos:** Proceso de convertir variables cualitativas en valores numéricos para análisis estadístico: binarios (0/1 para sí/no), ordinales (1, 2, 3 para bajo/medio/alto) o nominales (categorías sin orden).
- **Estadística descriptiva:** Conjunto de técnicas que permiten sintetizar grandes volúmenes de datos en indicadores simples y representativos mediante medidas de tendencia central, dispersión y forma de la distribución.
- **Medidas de tendencia central:** Indicadores que representan el valor típico o central de un conjunto de datos: media aritmética (promedio), mediana (valor central ordenado), moda (valor más frecuente).
- **Medidas de dispersión:** Indicadores que cuantifican la variabilidad o dispersión de los datos: varianza (promedio de desviaciones cuadradas), desviación estándar (raíz de varianza), coeficiente de variación ($CV = \text{desviación}/\text{media} \times 100\%$), rango (máximo-mínimo), rango intercuartílico (Q3-Q1).
- **Coefficiente de variación (CV):** Medida relativa de dispersión expresada en porcentaje ($CV = \sigma/\mu \times 100\%$), donde $CV > 30\%$ indica alta variabilidad del proceso y necesidad de control técnico en ingeniería.
- **Medidas de forma:** Indicadores que describen la forma de la distribución de datos: curtosis (grado de apuntamiento de la distribución), asimetría (grado de sesgo hacia izquierda o derecha respecto a la media).
- **Pruebas paramétricas:** Pruebas estadísticas que asumen distribución normal de datos y homogeneidad de varianzas: t de Student (comparar dos medias), ANOVA (comparar tres o más medias), correlación de Pearson (asociación lineal), regresión lineal (modelar relaciones).
- **Pruebas no paramétricas:** Pruebas estadísticas que no asumen distribución normal, apropiadas para datos ordinales o cuando supuestos paramétricos no se cumplen: U de Mann-Whitney (comparar dos grupos), Kruskal-Wallis (comparar tres o más grupos), correlación de Spearman (asociación monotónica).
- **t de Student:** Prueba paramétrica para comparar medias de dos grupos independientes o relacionados, determinando si diferencia observada es estadísticamente significativa o atribuible al azar.
- **ANOVA (Analysis of Variance):** Prueba paramétrica para comparar medias de tres o más grupos simultáneamente, determinando si al menos una media difiere significativamente de las otras mediante análisis de varianza entre y dentro de grupos.
- **Correlación de Pearson (r):** Coeficiente que mide fuerza y dirección de asociación lineal entre dos variables continuas, con valores entre -1 (correlación negativa perfecta) y +1 (correlación positiva perfecta), siendo 0 sin correlación lineal.
- **Regresión lineal:** Técnica estadística que modela relación entre variable dependiente y una o más independientes mediante ecuación lineal ($y = a + bx$), permitiendo predicción de valores y cuantificación de relaciones causa-efecto.

- **Normalidad de datos:** Característica de distribución que sigue curva normal (campana de Gauss), verificable mediante prueba de Shapiro-Wilk, siendo requisito para aplicar pruebas paramétricas en análisis estadístico.
- **Excel para análisis:** Herramienta fundamental en ingeniería por accesibilidad, con funciones estadísticas básicas (PROMEDIO, MEDIANA, DESVEST, VAR.P), gráficos, tablas dinámicas y complemento de análisis de datos para ANOVA y correlaciones.
- **Python para análisis científico:** Lenguaje de programación poderoso para análisis debido a precisión, reutilización de código y manejo de grandes volúmenes, con paquetes esenciales: Pandas (datos), NumPy (cálculos), SciPy (estadística), Matplotlib (gráficos), Scikit-learn (predictivo).
- **Gráfico de dispersión (Scatterplot):** Representación visual de relación entre dos variables continuas mediante puntos en plano cartesiano, permitiendo identificar correlaciones, tendencias y patrones no lineales entre variables.
- **Boxplot (diagrama de caja):** Gráfico que muestra distribución de datos mediante cuartiles, identificando mediana (línea central), rango intercuartílico (caja), valores extremos (bigotes) y outliers (puntos fuera), útil para detectar variabilidad y valores atípicos.
- **Interpretación técnica:** Proceso de convertir resultados estadísticos en conclusiones operativas considerando principios de ingeniería, normativas técnicas (ISO, EPA, OMS) y comportamiento físico del fenómeno analizado.
- **Significancia estadística:** Probabilidad de que resultado observado sea debido a azar y no a efecto real, típicamente establecida en $p < 0.05$ (5% de probabilidad de error tipo I), determinando si diferencias o relaciones son estadísticamente confiables.

💡 Ideas principales

1. El procesamiento y análisis de datos constituye una fase crítica en toda investigación científica y tecnológica porque permite transformar datos brutos en información útil para tres propósitos fundamentales: toma de decisiones operativas, validación de hipótesis planteadas, y comprensión profunda de fenómenos técnicos.
2. En ingeniería y ciencias ambientales, el análisis de datos se basa principalmente en métodos cuantitativos que permiten tres capacidades esenciales: describir (caracterizar el estado actual), modelar (crear representaciones matemáticas), y predecir (anticipar comportamiento futuro) de variables físicas, químicas, ambientales u operativas.
3. La limpieza de datos (data cleaning) es el primer paso obligatorio para garantizar calidad analítica, consistiendo en detectar y corregir cinco tipos de problemas: valores atípicos (outliers que distorsionan análisis), valores faltantes (datos ausentes), registros duplicados (redundancias), errores de tipeo/unidades/codificación (inconsistencias de formato), e inconsistencias entre variables (contradicciones lógicas).

4. Según Kitchin y McArdle (2016), entre el 60% y 80% del tiempo total de análisis se emplea en organizar y limpiar los datos, lo cual subraya la importancia crítica de esta etapa frecuentemente subestimada pero fundamental para resultados confiables.
5. Los seis pasos recomendados para limpieza de datos son: (1) verificar unidades están correctas y consistentes (mg/L, dBA, m/s, °C), (2) revisar rangos aceptables según normas técnicas (valores físicamente posibles), (3) identificar outliers mediante z-score ($|z| > 3$) o boxplot visual, (4) codificar datos categóricos apropiadamente (0/1 binarios, 1,2,3 ordinales), (5) homogeneizar formatos de fecha y hora (estandarizar), (6) eliminar registros duplicados (verificar integridad).
6. La estadística descriptiva permite sintetizar grandes volúmenes de datos en indicadores simples y representativos mediante tres tipos de medidas fundamentales: tendencia central (dónde se centra la distribución), dispersión (cuánto varían los datos), y forma (cómo se distribuyen los datos alrededor del centro).
7. Las medidas de tendencia central son tres: media aritmética (promedio de todos los valores, sensible a outliers), mediana (valor central cuando datos están ordenados, robusta a outliers), y moda (valor más frecuente, útil para datos categóricos). La elección depende de la distribución de datos.
8. Las medidas de dispersión cuantifican variabilidad mediante cinco indicadores: varianza (promedio de desviaciones cuadradas respecto a la media), desviación estándar (raíz cuadrada de varianza, mismas unidades que datos), coeficiente de variación ($CV = \sigma/\mu \times 100\%$, medida relativa independiente de unidades), rango (diferencia entre máximo y mínimo), y rango intercuartílico (Q3-Q1, dispersión del 50% central de datos).
9. El coeficiente de variación (CV) es especialmente importante en ingeniería para evaluar estabilidad de procesos: $CV < 10\%$ indica baja variabilidad (proceso estable), $CV 10-30\%$ indica variabilidad moderada (aceptable en muchos procesos), $CV > 30\%$ indica alta variabilidad (proceso inestable, requiere control técnico urgente según Montgomery 2020).
10. Las pruebas estadísticas se dividen en dos categorías según supuestos: paramétricas (asumen distribución normal y homogeneidad de varianzas: t de Student, ANOVA, Pearson, regresión lineal) y no paramétricas (no asumen normalidad: Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, Spearman), siendo la selección crítica para validez de resultados.
11. Los criterios para seleccionar prueba estadística apropiada son tres: (1) normalidad de datos verificable mediante Shapiro-Wilk (si $p > 0.05$ datos son normales); (2) tamaño de muestra ($n < 30$ puede requerir no paramétricas); (3) tipo de variable según escala de medición (nominal, ordinal, intervalar, razón determina opciones disponibles).
12. t de Student compara medias de dos grupos (independientes o relacionados) determinando si diferencia observada es estadísticamente significativa ($p < 0.05$) o atribuible al azar. ANOVA extiende esto a tres o más grupos, analizando si al menos una media difiere significativamente.

13. La correlación de Pearson (r) mide asociación lineal entre dos variables continuas con valores entre -1 y $+1$: r cercano a -1 indica correlación negativa fuerte (una variable aumenta mientras otra disminuye), r cercano a 0 indica sin correlación lineal, r cercano a $+1$ indica correlación positiva fuerte (ambas variables aumentan juntas). r^2 indica porcentaje de varianza compartida.
14. La regresión lineal modela relación entre variables mediante ecuación $y = a + bx$ donde a es intercepto, b es pendiente (cambio en y por unidad de x), permitiendo predicción cuantitativa y análisis causa-efecto. R^2 (coeficiente de determinación) indica bondad de ajuste: $R^2=0.70$ significa que modelo explica 70% de variabilidad.
15. Excel es herramienta fundamental en ingeniería por tres razones: accesibilidad universal (ampliamente disponible y conocido); integración con dispositivos de adquisición de datos (lectura directa de sensores); e ideal para análisis preliminares rápidos. Sus limitaciones son no ser adecuado para big data (lentitud con $>100,000$ filas) y limitado en análisis multivariante avanzado.
16. Python es herramienta poderosa para análisis científico por cuatro ventajas críticas: reproducibilidad (código reutilizable documentado); automatización de procesos repetitivos (eficiencia); integración con sensores y hardware (Arduino, Raspberry Pi para adquisición en tiempo real); e ideal para ingeniería por paquetes especializados (Pandas, NumPy, SciPy, Matplotlib, Scikit-learn).
17. Los cinco tipos de gráficos esenciales en ingeniería son: líneas (series temporales de ruido, temperatura, caudal mostrando evolución en el tiempo); barras (comparación entre categorías como zonas, materiales, equipos); pastel (distribución porcentual de composición como residuos sólidos o emisiones); dispersión (identificación de relaciones entre variables como ruido vs distancia); boxplot (detección de outliers, mediana, IQR en análisis de procesos y ensayos experimentales).
18. La interpretación técnica convierte resultados estadísticos en conclusiones operativas considerando cuatro criterios fundamentales: (1) evaluar magnitud, dirección y significancia estadística de relaciones encontradas; (2) comparar resultados con estándares técnicos establecidos (ISO, EPA, OMS) para determinar cumplimiento normativo; (3) relacionar variabilidad estadística con estabilidad del proceso ingenieril; (4) identificar si datos cumplen condiciones operativas seguras para funcionamiento del sistema.
19. Los ejercicios prácticos demuestran aplicación real: datos de presión 160, 158, 161, 164, 159, 160 psi producen media=160.33 psi, desviación estándar=2.05 psi, CV=1.27% interpretándose como sistema con baja variabilidad (estable). Datos de ruido vs distancia (5m/92dBA, 10m/88dBA, 15m/82dBA, 20m/79dBA) producen $r=-0.97$ interpretándose como correlación negativa fuerte coherente con ley física del inverso del cuadrado.

⚡ Para recordar

- ✓ **Fase crítica:** Datos brutos → Información útil.
- ✓ **3 Propósitos:** Toma decisiones + Validar hipótesis + Comprender fenómenos.

✓ **En ingeniería:** Describir + Modelar + Predecir comportamiento de variables.

✓ **Limpieza de datos** (60-80% del tiempo).

5 problemas a corregir:

- (1) Valores atípicos (outliers).
- (2) Valores faltantes.
- (3) Registros duplicados.
- (4) Errores tipeo/unidades/codificación.
- (5) Inconsistencias entre variables.

6 pasos recomendados:

- (1) Verificar unidades (mg/L, dBA, m/s, °C).
- (2) Revisar rangos aceptables (normas técnicas).
- (3) Identificar outliers (z-score $|z| > 3$ o boxplot).
- (4) Codificar categóricos (0/1 binario, 1,2,3 ordinal).
- (5) Homogeneizar fecha/hora (estandarizar formatos).
- (6) Eliminar duplicados (verificar integridad).

✓ **Estadística descriptiva**

→ Tendencia central:

- Media: Promedio (sensible a outliers).
- Mediana: Valor central (robusta a outliers).
- Moda: Más frecuente (útil categóricos).

→ Dispersión:

- Varianza: Promedio desviaciones².
- Desviación estándar: $\sqrt{\text{Varianza}}$ (mismas unidades).
- Coeficiente variación: $CV = \sigma/\mu \times 100\%$.
CV < 10% → Baja variabilidad (estable).
CV 10-30% → Moderada (aceptable).
CV > 30% → Alta variabilidad (¡Control Técnico!).
- Rango: Máximo – Mínimo.
- Rango intercuartílico: Q3 - Q1.

→ Forma:

- Curtosis: Apuntamiento distribución.
- Asimetría: Sesgo izquierda/derecha.

✓ **Pruebas estadísticas**

Paramétricas (asumen normalidad):

- t de Student: Comparar 2 medias.
- ANOVA: Comparar 3+ medias.
- Pearson (r): Correlación lineal [-1, +1].
- Regresión lineal: $y = a + bx$ (predicción).

No Paramétricas (sin asumir normalidad):

- U de Mann-Whitney: Comparar 2 grupos.
- Kruskal-Wallis: Comparar 3+ grupos.
- Spearman: Correlación monotónica.

Criterios selección:

- (1) Normalidad: Shapiro-Wilk ($p > 0.05$ = normal).
- (2) Tamaño muestra: $n < 30$ considerar no paramétrica.
- (3) Tipo variable: Nominal | Ordinal | Intervalar | Razón.

✓ **Excel**

Funciones: PROMEDIO, MEDIANA, DESVEST, VAR.P, CONTAR.SI.

Gráficos: Líneas, Barras, Dispersión.

Análisis: ANOVA, t-test, Correlaciones.

Ventajas: Accesible, Integración dispositivos.

Limitaciones: No big data, Limitado multivariante.

✓ **Python**

Paquetes esenciales:

- Pandas: Manejo/limpieza datos.
- NumPy: Cálculos numéricos.
- SciPy: Estadísticas.
- Matplotlib: Gráficos.
- Scikit-learn: Modelos predictivos.

Ventajas: Reproducibilidad, Automatización, Integración sensores (Arduino/Raspberry).

✓ **5 gráficos esenciales**

- Líneas: Series temporales (ruido, temperatura, caudal).
- Barras: Comparación categorías (zonas, materiales).
- Pastel: Distribución % (residuos, emisiones).
- Dispersión: Relaciones variables (ruido vs distancia).
- Boxplot: Outliers, mediana, IQR (procesos, ensayos).

✓ **Interpretación técnica** (4 criterios):

- (1) Evaluar magnitud/dirección/significancia.
- (2) Comparar con estándares (ISO, EPA, OMS).
- (3) Relacionar variabilidad con estabilidad proceso.
- (4) Identificar cumplimiento condiciones seguras.

✓ **Ejemplo rápido:**

Presión: 160, 158, 161, 164, 159, 160 psi.

→ Media = 160.33 psi | $\sigma = 2.05$ psi | CV = 1.27%.

→ Interpretación: Baja variabilidad (proceso estable).

✓ $r = -0.97$ entre ruido-distancia → Correlación negativa fuerte (coherente ley física).

■ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te guiarán en el procesamiento y análisis completo de tus datos reales. Aplicarás limpieza de datos, estadística descriptiva, pruebas estadísticas apropiadas, y generarás interpretaciones técnicas que respondan tus hipótesis.

Ejercicio 1: Limpieza y organización de tus datos: Aplica los 6 pasos de limpieza a tus datos: (1) Verificar unidades: Revisa que todas las mediciones estén en unidades correctas y consistentes. ¿Encontraste errores? ¿Cuáles corregiste? (2) Rangos aceptables: según normas o especificaciones técnicas, ¿Qué rangos son válidos? ¿Hay valores fuera de rango? (3) Identificar Outliers: Calcula z-score para tus datos o genera boxplot. ¿Detectaste outliers? ¿Los eliminarás o mantendrás? Justifica. (4) Codificar categóricos: Si tienes variables categóricas, ¿Cómo las codificaste? (5) Fecha/Hora: ¿Homogeneizaste formatos? (6) Duplicados: ¿Encontraste y eliminaste registros duplicados? Documenta el proceso.

Ejercicio 2: Estadística descriptiva completa: Calcula estadística descriptiva para tus variables principales: (a) Tendencia central: Calcula media, mediana y moda para cada variable cuantitativa. ¿Cuál es más representativa en tu caso? (b) Dispersión: Calcula desviación estándar, varianza y coeficiente de variación (CV) para cada variable. ¿Qué CV obtuviste? Interpreta: ¿Baja (<10%), Moderada (10-30%) o Alta (>30%) variabilidad? (c) Forma: Si es posible, evalúa asimetría y curtosis. ¿Tus datos están sesgados? ¿La distribución es simétrica? (d) Presenta resultados en tabla organizada con todas las medidas.

Ejercicio 3: Verificación de normalidad: Antes de seleccionar pruebas, verifica normalidad de tus datos: (a) Método visual: Genera histograma o gráfico Q-Q plot. ¿Los datos siguen forma de campana? (b) Método estadístico: aplica prueba Shapiro-Wilk (en Excel mediante complementos o Python/R). Reporta valor de p. (c) Interpretación: si $p > 0.05$, datos son normales (puedes usar pruebas paramétricas). Si $p \leq 0.05$, datos NO son normales (usa pruebas no paramétricas). (d) ¿Qué tipo de pruebas usarás según este resultado? (e) Si tienes múltiples variables, verifica normalidad de cada una.

Ejercicio 4: Comparación de grupos (si aplica): Si tu estudio compara grupos: (a) ¿Cuántos grupos comparas? (2 grupos: t de Student o Mann-Whitney; 3+ grupos: ANOVA o Kruskal-Wallis). (b) Según normalidad verificada en ejercicio anterior, ¿Usarás prueba paramétrica o no paramétrica? (c) Realiza la prueba apropiada usando Excel (Análisis de datos) o Python. (d) Reporta estadístico calculado (t, F, U o H) y valor de p. (e) Interpretación: Si $p < 0.05$, hay diferencia estadísticamente significativa entre grupos. Si $p \geq 0.05$, NO hay diferencia significativa. ¿Qué significa esto para tu hipótesis?

Ejercicio 5: Análisis de correlación (si aplica): Si tu estudio busca relaciones entre variables: (a) Identifica pares de variables para correlacionar (independiente-dependiente). (b) Según normalidad, ¿usarás Pearson (paramétrica) o Spearman (no paramétrica)? (c) Calcula coeficiente de correlación r para cada par. (d) Interpreta magnitud: $|r| < 0.3$ (débil), 0.3-0.7 (moderada), > 0.7 (fuerte). (e) Interpreta dirección: r positivo (ambas aumentan), r negativo (una aumenta, otra disminuye). (f) Calcula r^2 (coeficiente determinación): ¿Qué % de varianza explica? (g) ¿Es coherente con teoría física o expectativa teórica?

Ejercicio 6: Análisis de regresión (si aplica): Si necesitas modelar relación predictiva: (a) Define variable dependiente (Y) e independiente(s) (X). (b) Genera gráfico de dispersión. ¿Relación parece lineal? (c) Calcula regresión lineal: $y = a + bx$. Reporta valores de a (intercepto) y b (pendiente). (d) Calcula R^2 (bondad de ajuste). ¿Qué porcentaje de variabilidad explica tu modelo? $R^2 > 0.70$ es bueno. (e) Verifica supuestos: Residuos normales, homocedasticidad, independencia. (f) Escribe ecuación final. (g) Interpretación técnica: ¿Qué significa el valor de b? (cambio en Y por unidad de X). ¿Es coherente físicamente?

Ejercicio 7: Generación de gráficos profesionales: Crea gráficos apropiados para tus datos: (a) Series temporales: Si mediste variables en el tiempo, genera gráfico de líneas mostrando evolución. (b) Comparación grupos: Si comparas categorías, genera gráfico de barras con medias y barras de error (desviación estándar). (c) Relaciones: Si analizaste correlaciones, genera gráfico de dispersión con línea de tendencia, ecuación y R^2 . (d) Distribución: Genera boxplot mostrando mediana, cuartiles y outliers. (e) Asegura que cada gráfico tenga: título descriptivo, ejes etiquetados con unidades, leyenda si necesaria. (f) ¿Qué patrón o hallazgo principal muestra cada gráfico?

Ejercicio 8: Interpretación técnica con estándares: Interpreta tus resultados considerando normas: (a) Magnitud: Compara tus valores promedio con límites normativos (ISO, EPA, OMS, normas nacionales). ¿Cumples o excedes límites? (b) Variabilidad: ¿Tu CV indica proceso estable o inestable? ¿Necesitas control adicional? (c) Significancia: Si $p < 0.05$, ¿Qué implica técnicamente? ¿Confirma o rechaza tu hipótesis? (d) Coherencia física: ¿Tus resultados son coherentes con leyes físicas, principios de ingeniería o teoría? (e) Condiciones seguras: ¿Tus datos indican operación segura del sistema? ¿Hay riesgos? Integra todo en interpretación técnica (8-10 líneas).

Ejercicio 9: Validación de hipótesis: Retoma tus hipótesis del Capítulo 7 y válidalas con tus análisis: (a) Hipótesis general: Según tus pruebas estadísticas (comparaciones, correlaciones, regresión), ¿Se confirma o se rechaza? Especifica valor de p y decisión estadística. (b) Hipótesis específicas: Para cada una, ¿Qué análisis realizaste? ¿Qué resultado obtuviste? ¿Se confirma o rechaza? (c) Si rechazaste hipótesis, ¿Por qué crees que sucedió? (diseño experimental, variables confusas, teoría incorrecta). (d) Si confirmaste hipótesis, ¿Qué tan fuerte es la

evidencia? (tamaño de efecto, R^2 , diferencia de medias). Presenta tabla resumen: Hipótesis | Prueba usada | Resultado (estadístico, p) | Decisión.

Ejercicio 10: Reporte completo de resultados: Redacta la sección de resultados siguiendo estructura científica: Párrafo 1: Estadística descriptiva general (medias, desviaciones, rangos observados - 4-5 líneas). Párrafo 2: Resultados de pruebas de comparación si aplica (diferencias significativas o no, valores de p - 4-5 líneas). Párrafo 3: Resultados de análisis de correlación/regresión si aplica (coeficientes, significancia, ecuaciones - 4-5 líneas). Párrafo 4: Interpretación técnica integrada comparando con normas, teoría y objetivos (6-8 líneas). Incluye llamados a tablas ("Tabla 1") y figuras ("Figura 1") donde presentas datos. Usa lenguaje técnico preciso, tiempo pasado, tercera persona.

→ Siguiente paso

¡Excelente trabajo! Has procesado y analizado tus datos transformándolos en resultados interpretables. Has aplicado limpieza de datos, calculado estadística descriptiva, realizado pruebas estadísticas apropiadas, y generado interpretaciones técnicas que validan o rechazan tus hipótesis. Ahora que dominas el análisis estadístico básico, el siguiente paso es profundizar en diseños experimentales más complejos que te permitan optimizar procesos y sistemas.

En el Capítulo 12 - "Diseño Experimental", aprenderás metodologías sistemáticas para estudiar cómo una o más variables influyen sobre un resultado o desempeño del sistema. Montgomery (2017) afirma que un experimento bien diseñado reduce costos, disminuye errores y mejora la confiabilidad de las conclusiones. Este capítulo te introduce a la Parte IV: Investigación Aplicada en Ingeniería.

Conocerás los conceptos básicos fundamentales. Un **experimento** es el proceso en el cual se manipulan deliberadamente variables independientes para observar su efecto en una variable de respuesta. Los **factores** son variables que el investigador controla (temperatura, tiempo,

caudal, presión, rpm, pH). Los **niveles** son valores o categorías que toma cada factor. La **variable de respuesta** es la magnitud que se mide (eficiencia, concentración, resistencia, deformación, ruido). El **error experimental** es la variación no controlada que siempre existe.

Aprenderás sobre **variables controladas** que se mantienen constantes para evitar que influyan sobre resultados, con ejemplos por rama: ambiental (humedad, viento, distancia), química (pureza reactivo, volumen reactor), industrial (operador, turno, velocidad), civil (tamaño muestra, edad concreto). Conocerás 5 reglas para controlar variables.

Dominarás el **diseño completamente al azar (DCA)**, el diseño experimental más simple usado cuando unidades experimentales son homogéneas, con características de aleatorización total, ideal para laboratorio, y análisis con ANOVA de un factor.

Aprenderás el **diseño factorial** que permite estudiar simultáneamente dos o más factores, identificando no solo efectos principales sino también interacciones entre factores (efecto de un factor depende del nivel de otro), siendo fundamental para optimización de procesos.

El capítulo incluirá ejemplos aplicados en diferentes ramas de ingeniería, análisis con ANOVA factorial, interpretación de interacciones, y diseño de experimentos completos paso a paso.

Prepárate para diseñar experimentos eficientes que maximicen información obtenida mientras minimizan recursos necesarios, permitiéndote optimizar procesos y sistemas de manera sistemática y científica.



***¡Felicitaciones por completar el Capítulo 11!
Has procesado datos, aplicado estadística y validada hipótesis con rigor científico.
Ahora es momento de aprender diseño experimental para optimizar procesos y
sistemas.***

Parte IV

**Investigación
aplicada
en ingeniería**

Parte IV

Investigación aplicada en ingeniería

Capítulos incluidos:

- Capítulo 12: El diseño experimental
- Capítulo 13: La optimización ingenieril
- Capítulo 14: Modelamiento y simulación
- Capítulo 15: La investigación e innovación tecnológica

Capítulo 12

**Diseño
experimental**

Diseño experimental

El diseño experimental (Design of Experiments – DOE) es una metodología fundamental de la estadística utilizada en la ingeniería porque permite estudiar de manera controlada cómo una o más variables influyen sobre un resultado o desempeño del sistema.

Montgomery (2017) afirma que un experimento bien diseñado reduce costos, disminuye errores y mejora la confiabilidad de las conclusiones.

En ingeniería química, ambiental, civil, industrial, eléctrica y mecánica, el diseño experimental sirve para optimizar procesos, caracterizar materiales, validar equipos, evaluar parámetros y modelar fenómenos físicos.

Figura 12

Ciclo del diseño experimental.



12.1. Conceptos básicos

Experimento

Proceso en el cual se manipulan deliberadamente variables independientes para observar su efecto en una variable de respuesta (Montgomery, 2017).

Factores

VARIABLES que el investigador controla.

Ejemplos: temperatura, tiempo, caudal, presión, rpm, pH.

Niveles

Valores o categorías que toma cada factor.

Ejemplo: temperatura a 25 °C y 35 °C.

Variable de respuesta

Magnitud que se mide: Eficiencia, concentración, resistencia, deformación, ruido, velocidad, torque, etc.

Error experimental

Variación no controlada que siempre existe en los procesos reales.

12.2. Variables controladas

Las variables controladas son aquellas que se mantienen constantes durante el experimento para evitar que influyan sobre los resultados (Gutiérrez y De la Vara, 2016).

Ejemplos por Ingeniería

- **Ingeniería Ambiental:** Humedad, viento, distancia de medición.
- **Ingeniería Química:** Pureza del reactivo, volumen del reactor.
- **Ingeniería Industrial:** Operador, turno, velocidad del transportador.
- **Ingeniería Civil:** Tamaño de la muestra, edad del concreto.

Reglas para controlar variables

1. Mantener condiciones constantes en todos los ensayos.
2. Registrar cada condición controlada.
3. Usar equipos calibrados.
4. Evitar intervenciones durante la prueba.
5. Repetir ensayos para reducir error aleatorio.

12.3. Diseño completamente al azar (DCA)

Es el diseño experimental más simple.

Se utiliza cuando las unidades experimentales son homogéneas y no existe un patrón espacial o temporal que genere sesgos.

Características

- Aleatorización total de tratamientos.
- Ideal para ensayos de laboratorio.
- Fácil de ejecutar y analizar.

Ejemplo aplicado

Se desea evaluar tres temperaturas (25, 35 y 45 °C) en la eficiencia de remoción de turbidez en un sistema de coagulación.

Cada temperatura se aplica al azar a 5 muestras idénticas. El análisis posterior se realiza con ANOVA de un factor.

Según Montgomery (2017), este diseño es adecuado cuando no existen factores externos relevantes.

12.4. Diseño factorial

El diseño factorial permite estudiar **simultáneamente dos o más factores**, siendo uno de los métodos más potentes del DOE.

Ventajas del diseño factorial

- Evalúa efectos individuales (principal efectos).
- Evalúa efectos combinados (interacciones).
- Reduce número total de pruebas comparado con diseños simples.

Ejemplo de diseño factorial 2² (dos factores, dos niveles)

Tabla 6

Factores del diseño.

Factor	Nivel bajo (-)	Nivel alto (+)
Temperatura	25 °C	40 °C
Tiempo	20 min	40 min

Se ejecutan **4 tratamientos**:

1. (-, -)
2. (-, +)
3. (+, -)
4. (+, +)

Este diseño permite determinar si existe interacción entre temperatura y tiempo, algo muy frecuente en ingeniería de procesos (Gutiérrez y De la Vara, 2016).

12.5. DOE para ingenieros

El DOE (Design of Experiments) es una metodología formal utilizada en ingeniería para mejorar procesos, productos y sistemas.

Fases del DOE

1. Definir el problema.
2. Identificar factores y niveles.
3. Seleccionar el tipo de diseño.
4. Ejecutar el experimento.
5. Analizar resultados (ANOVA, regresión).
6. Verificar el modelo.
7. Implementar mejoras.

Herramientas recomendadas

- Matriz de diseño.
- Gráficos de Pareto.

- Gráficos de interacción.
- Superficies de respuesta.
- Software: Minitab, R, Python, JMP.

Aplicaciones típicas

- Optimización de procesos.
- Pruebas de materiales.
- Eficiencia energética.
- Tratamiento de agua y efluentes.
- Ruido, vibraciones y emisiones.
- Modelos de corrosión.
- Diseño de productos.

12.6. Ejemplos en laboratorio

Ejemplo 1: Ingeniería Química.

Factor A: pH (4 y 7).

Factor B: dosis de coagulante (5 y 15 mg/L).

Respuesta: turbidez residual.

El análisis factorial determina qué combinación genera mayor remoción.

Ejemplo 2: Ingeniería Ambiental.

Factor A: distancia a la fuente (10 y 20 m).

Factor B: altura del micrófono (1.2 m y 1.5 m).

Respuesta: nivel de ruido (dBA).

Se busca modelar el comportamiento espacial del ruido.

Ejemplo 3: Ingeniería Civil.

Factor A: relación agua/cemento (0.45 y 0.55).

Factor B: tipo de aditivo (presencia/ausencia).

Respuesta: resistencia a la compresión (MPa).

El DOE permite identificar interacciones entre aditivo y relación A/C.

Ejemplo 4: Ingeniería Mecánica.

Factor A: velocidad del torno (800 y 1200 rpm).

Factor B: profundidad de corte (1 y 3 mm).

Respuesta: rugosidad superficial.

El análisis permite elegir parámetros óptimos de maquinado.

12.7. Interpretación de resultados

Interpretar un diseño experimental implica analizar:

1. Efectos principales

Determinan si un factor tiene influencia directa sobre la variable respuesta.

2. Interacciones

Indican que la combinación de factores cambia el resultado final, fenómeno muy frecuente en sistemas reales.

3. ANOVA

Confirma si los efectos observados son estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

4. Modelos de regresión

Permiten crear ecuaciones predictivas útiles para simulación y control.

5. Optimización

Según Montgomery (2017), la meta del DOE es encontrar las condiciones óptimas del sistema.

Interpretación final

Siempre debe relacionarse con:

- Principios físicos o químicos del sistema.
- Condiciones reales de operación.
- Limitaciones de campo o laboratorio.
- Normas técnicas o estándares.

Diseño experimental

■ Resumen del capítulo

Este capítulo presentó el diseño experimental (Design of Experiments - DOE) como metodología fundamental en ingeniería que permite estudiar de manera controlada cómo una o más variables influyen sobre un resultado o desempeño del sistema. Montgomery (2017) afirma que un experimento bien diseñado reduce costos, disminuye errores y mejora la confiabilidad de las conclusiones. Se estableció que en ingeniería química, ambiental, civil, industrial, eléctrica y mecánica, el diseño experimental sirve para optimizar procesos, caracterizar materiales, validar equipos, evaluar parámetros y modelar fenómenos físicos. Se presentaron los **conceptos básicos** fundamentales: Experimento (proceso donde se manipulan deliberadamente variables independientes para observar efecto en variable de respuesta), factores (variables que investigador controla: temperatura, tiempo, caudal, presión, rpm, pH), niveles (valores o categorías que toma cada factor como temperatura 25°C y 35°C), variable de respuesta (magnitud medida: eficiencia, concentración, resistencia, deformación, ruido, velocidad, torque), y error experimental (variación no controlada que siempre existe en procesos reales). Se explicaron las **variables controladas** que deben mantenerse constantes para evitar que influyan sobre resultados, con ejemplos por ingeniería: ambiental (humedad, viento, distancia), química (pureza reactivo, volumen reactor), industrial (operador, turno, velocidad transportador), civil (tamaño muestra, edad concreto), con cinco reglas: mantener condiciones constantes, registrar cada condición, usar equipos calibrados, evitar intervenciones durante prueba, repetir ensayos para reducir error aleatorio. Se presentó el **diseño completamente al azar** (DCA) como diseño más simple, utilizado cuando unidades experimentales son homogéneas y no existe patrón espacial o temporal generando sesgos, con características de aleatorización total, ideal para laboratorio, fácil de ejecutar y analizar, con ejemplo de tres temperaturas (25, 35, 45°C)

aplicadas al azar a 5 muestras idénticas evaluando eficiencia de remoción de turbidez, analizando con ANOVA de un factor. Se explicó el **diseño factorial** como método más potente del DOE que estudia simultáneamente dos o más factores, con ventajas de evaluar efectos individuales (principales), efectos combinados (interacciones), y reducir número total de pruebas comparado con diseños simples, presentando ejemplo 2^2 (dos factores, dos niveles) con temperatura (25°C/40°C) y tiempo (20min/40min) ejecutando 4 tratamientos que permiten determinar si existe interacción. Se presentó el **DOE para ingenieros** con siete fases: Definir problema, identificar factores y niveles, seleccionar tipo de diseño, ejecutar experimento, analizar resultados (ANOVA, regresión), verificar modelo, implementar mejoras, con herramientas de matriz de diseño, gráficos de Pareto, gráficos de interacción, superficies de respuesta, software (Minitab, R, Python, JMP), y aplicaciones típicas en optimización de procesos, pruebas materiales, eficiencia energética, tratamiento agua/efluentes, ruido/vibraciones/emisiones, modelos corrosión, diseño productos. Se proporcionaron cuatro **ejemplos en laboratorio**: Química (pH y dosis coagulante vs turbidez residual), ambiental (distancia y altura micrófono vs nivel ruido), civil (relación agua/cemento y aditivo vs resistencia compresión), mecánica (velocidad torno y profundidad corte vs rugosidad superficial). Finalmente, se explicó la **interpretación de resultados** analizando cinco elementos: efectos principales (influencia directa de factor), interacciones (combinación de factores cambia resultado), ANOVA (confirma significancia estadística $p < 0.05$), modelos de regresión (ecuaciones predictivas), optimización (encontrar condiciones óptimas del sistema según Montgomery 2017), con interpretación final relacionándose con principios físicos/químicos, condiciones reales de operación, limitaciones campo/laboratorio, y normas técnicas o estándares.

🔑 Conceptos clave

- **Diseño experimental (DOE - Design of Experiments):** Metodología fundamental en ingeniería que permite estudiar de manera controlada y sistemática cómo una o más variables independientes (factores) influyen sobre un resultado o desempeño del sistema (variable de respuesta).
- **Experimento:** Proceso en el cual se manipulan deliberadamente variables independientes (factores) para observar su efecto en una variable de respuesta bajo condiciones controladas, permitiendo establecer relaciones causa-efecto.
- **Factores:** Variables independientes que el investigador controla y manipula deliberadamente en un experimento. Ejemplos en ingeniería: temperatura, tiempo de reacción, caudal, presión, velocidad de rotación (rpm), pH, concentración.

- **Niveles:** Valores específicos o categorías que toma cada factor durante el experimento. Ejemplo: factor temperatura puede tener niveles de 25°C (nivel bajo) y 35°C (nivel alto), o múltiples niveles como 20°C, 30°C, 40°C.
- **Variable de respuesta:** Magnitud que se mide como resultado del experimento para evaluar efecto de los factores. Ejemplos en ingeniería: eficiencia de remoción, concentración de producto, resistencia mecánica, deformación, nivel de ruido, velocidad de reacción, torque.
- **Error experimental:** Variación no controlada que siempre existe en los procesos reales debido a factores aleatorios, instrumentación, condiciones ambientales fluctuantes, variabilidad de materiales, siendo inevitable pero minimizable mediante réplicas y control riguroso.
- **Variables controladas:** Variables que se mantienen constantes durante todo el experimento para evitar que influyan sobre los resultados y confundan los efectos de los factores estudiados, asegurando validez interna del experimento.
- **Aleatorización:** Principio fundamental del diseño experimental que consiste en asignar tratamientos a unidades experimentales de manera aleatoria, eliminando sesgos sistemáticos y garantizando validez estadística de conclusiones.
- **Réplicas:** Repeticiones del experimento bajo las mismas condiciones de tratamiento, permitiendo estimar error experimental, aumentar precisión de estimaciones, y detectar diferencias más pequeñas entre tratamientos con mayor confiabilidad estadística.
- **Diseño Completamente al Azar (DCA):** Diseño experimental más simple donde tratamientos se asignan completamente al azar a unidades experimentales homogéneas, sin restricciones de bloqueo, siendo ideal para ensayos de laboratorio cuando no existe patrón espacial o temporal que genere sesgos.
- **Diseño factorial:** Diseño experimental que permite estudiar simultáneamente dos o más factores, evaluando no solo efectos individuales (principales) sino también efectos combinados (interacciones) entre factores, siendo uno de los métodos más potentes del DOE.
- **Efectos principales:** Influencia directa e individual que cada factor tiene sobre la variable de respuesta, evaluada promediando sobre todos los niveles de los otros factores, indicando si cambios en el factor producen cambios significativos en respuesta.
- **Interacciones:** Fenómeno que ocurre cuando el efecto de un factor sobre la variable de respuesta depende del nivel de otro factor, indicando que factores no actúan de manera independiente sino que se combinan para producir efectos sinérgicos o antagónicos.
- **Diseño factorial 2²:** Diseño factorial con dos factores cada uno a dos niveles (bajo y alto, codificados como - y +), generando $2 \times 2 = 4$ combinaciones de tratamientos, siendo el diseño factorial más simple y fundamental para estudiar interacciones.
- **Tratamientos:** Combinaciones específicas de niveles de factores aplicadas a unidades experimentales. En diseño factorial 2², los 4 tratamientos son: (-,-), (-,+), (+,-), (+,+), representando todas las posibles combinaciones de niveles bajo y alto de ambos factores.

- **Matriz de diseño:** Tabla estructurada que especifica qué combinación de factores se aplica a cada unidad experimental, organizando sistemáticamente todas las corridas del experimento y facilitando ejecución, análisis e interpretación de resultados.
- **ANOVA para diseño experimental:** Análisis de varianza aplicado a datos experimentales para confirmar si efectos observados de factores e interacciones son estadísticamente significativos ($p < 0.05$) o atribuibles a variación aleatoria del error experimental.
- **Gráficos de interacción:** Representaciones visuales que muestran cómo el efecto de un factor cambia según nivel de otro factor, mediante líneas no paralelas indicando presencia de interacción significativa (líneas paralelas indican ausencia de interacción).
- **Superficie de respuesta:** Representación tridimensional de relación entre factores (ejes X, Y) y variable de respuesta (eje Z), permitiendo visualizar comportamiento del sistema en todo el espacio experimental e identificar regiones óptimas de operación.
- **Optimización de procesos:** Aplicación del DOE para encontrar combinación óptima de factores que maximiza eficiencia, minimiza costos, mejora calidad, o alcanza cualquier otro objetivo operativo definido, siendo meta final del diseño experimental según Montgomery (2017).
- **Modelos de regresión del DOE:** Ecuaciones matemáticas desarrolladas a partir de datos experimentales que relacionan cuantitativamente factores con variable de respuesta, permitiendo predicción, simulación y control del proceso sin necesidad de experimentación adicional.
- **Validación del modelo:** Proceso de verificar que modelo de regresión desarrollado representa adecuadamente el sistema real mediante análisis de residuos, pruebas de falta de ajuste, y verificación experimental de predicciones en condiciones no incluidas en diseño original.

💡 Ideas principales

1. El diseño experimental (DOE) es metodología fundamental en ingeniería porque permite estudiar de manera controlada y sistemática cómo variables influyen sobre resultados del sistema. Montgomery (2017) afirma que experimento bien diseñado reduce costos (menos pruebas necesarias), disminuye errores (mayor precisión), y mejora confiabilidad de conclusiones (validez estadística).
2. En todas las ramas de ingeniería (química, ambiental, civil, industrial, eléctrica, mecánica) el diseño experimental sirve para seis propósitos fundamentales: optimizar procesos (encontrar mejores condiciones), caracterizar materiales (propiedades bajo diferentes condiciones), validar equipos (verificar desempeño), evaluar parámetros (cuantificar efectos), modelar fenómenos físicos (crear ecuaciones predictivas), y mejorar productos (diseño óptimo).
3. Los cinco conceptos básicos del diseño experimental son: (1) **Experimento** - manipulación deliberada de variables independientes para observar efecto; (2)

Factores - variables controladas por investigador (temperatura, tiempo, caudal, presión, rpm, pH); (3) **Niveles** - valores específicos de cada factor (25°C y 35°C); (4) **Variable de respuesta** - magnitud medida (eficiencia, concentración, resistencia, ruido); (5) **Error experimental** - variación no controlada inevitable en procesos reales.

4. Las variables controladas son aquellas que se mantienen constantes durante el experimento para evitar que influyan sobre resultados y confundan efectos de factores estudiados. Ejemplos por rama: ambiental (humedad, viento, distancia medición); química (pureza reactiva, volumen reactor); industrial (operador, turno, velocidad transportadora); civil (tamaño muestra, edad concreta). Sin control adecuado, resultados no son válidos.
5. Las cinco reglas fundamentales para controlar variables son: (1) Mantener condiciones constantes en todos los ensayos (temperatura ambiente, iluminación, humedad); (2) Registrar meticulosamente cada condición controlada (documentación trazable); (3) Usar equipos calibrados con trazabilidad metrológica (certificados válidos); (4) Evitar intervenciones durante la prueba (no modificar condiciones a mitad del experimento); (5) Repetir ensayos para reducir error aleatorio (réplicas aumentan precisión).
6. El Diseño Completamente al Azar (DCA) es el diseño experimental más simple, utilizado cuando unidades experimentales son homogéneas y no existe patrón espacial (ubicación física) o temporal (orden de ejecución) que genere sesgos. Características: Aleatorización total de tratamientos (asignación completamente al azar), ideal para ensayos de laboratorio (condiciones controladas), fácil de ejecutar y analizar (ANOVA de un factor). Según Montgomery (2017), adecuado cuando no existen factores externos relevantes.
7. Ejemplo típico de DCA: Evaluar tres temperaturas (25, 35, 45°C) en eficiencia de remoción de turbidez en sistema de coagulación. Cada temperatura se aplica al azar a 5 muestras idénticas (15 unidades experimentales totales). Análisis posterior con ANOVA de un factor determina si diferencias entre temperaturas son estadísticamente significativas ($p < 0.05$) o atribuibles a azar.
8. El diseño factorial permite estudiar simultáneamente dos o más factores, siendo uno de los métodos más potentes del DOE con tres ventajas críticas: (1) Evalúa efectos individuales de cada factor (efectos principales); (2) Evalúa efectos combinados entre factores (interacciones - fenómeno muy frecuente en ingeniería); (3) Reduce número total de pruebas comparado con estudiar cada factor por separado (eficiencia experimental).
9. El diseño factorial 2^2 (dos factores, dos niveles cada uno) es diseño factorial más simple y fundamental. Ejemplo: Factor A temperatura con niveles bajo (25°C) y alto (40°C), Factor B tiempo con niveles bajo (20 min) y alto (40 min). Se ejecutan 4 tratamientos representando todas combinaciones: (-,-), (-,+), (+,-), (+,+). Este diseño permite determinar si existe interacción entre temperatura y tiempo, algo muy frecuente en ingeniería de procesos según Gutiérrez y De la Vara (2016).
10. Las interacciones son fenómeno crítico en ingeniería donde efecto de un factor sobre respuesta depende del nivel de otro factor. Ejemplo: a 25°C el tiempo no afecta remoción, pero a 40°C mayor tiempo aumenta significativamente

remoción (interacción temperatura×tiempo). Las interacciones indican que factores no actúan independientemente sino sinérgicamente o antagónicamente, siendo información imposible de obtener estudiando un factor a la vez.

11. El DOE formal para ingenieros sigue siete fases metodológicas: (1) **Definir el problema** - objetivo claro y específico del experimento. (2) **Identificar factores y niveles** - qué variables manipular y en qué valores.(3) **Seleccionar tipo de diseño** - DCA, factorial, bloques, superficie de respuesta según problema. (4) **Ejecutar experimento** - seguir matriz de diseño con aleatorización. (5) **Analizar resultados** - ANOVA, regresión, gráficos. (6) **Verificar modelo** - validar ecuaciones predictivas. (7) **Implementar mejoras** - aplicar condiciones óptimas encontradas.
12. Las herramientas recomendadas para DOE incluyen: Matriz de diseño (organizar corridas experimentales); gráficos de Pareto (identificar factores más importantes); gráficos de interacción (visualizar efectos combinados); superficies de respuesta (mapear comportamiento en espacio de factores); software especializado (Minitab, R, Python, JMP) para diseño, análisis estadístico y optimización.
13. Las aplicaciones típicas del DOE en ingeniería son siete: (1) Optimización de procesos (encontrar condiciones óptimas de operación). (2) Pruebas de materiales (caracterizar propiedades mecánicas, térmicas, químicas). (3) Eficiencia energética (minimizar consumo manteniendo desempeño). (4) tratamiento de agua y efluentes (maximizar remoción de contaminantes).(5) Ruido, vibraciones y emisiones (minimizar impactos ambientales). (6) modelos de corrosión (predecir vida útil). (7) Diseño de productos (optimizar características de calidad).
14. Ejemplo 1 en Ingeniería Química: Factor A pH (niveles 4 y 7). Factor B dosis de coagulante (niveles 5 y 15 mg/L). Respuesta turbidez residual (NTU). Análisis factorial determina qué combinación pH-dosis genera mayor remoción de turbidez, pudiendo descubrir que pH óptimo depende de dosis (interacción) o que actúan independientemente (sin interacción).
15. Ejemplo 2 en Ingeniería Ambiental: Factor A distancia a la fuente (niveles 10 y 20 m). Factor B altura del micrófono (niveles 1.2 m y 1.5 m). Respuesta nivel de ruido (dBA). Se busca modelar comportamiento espacial del ruido considerando tanto distancia horizontal como vertical, pudiendo encontrar que atenuación con distancia es diferente a diferentes alturas (interacción).
16. Ejemplo 3 en Ingeniería Civil: Factor A relación agua/cemento (niveles 0.45 y 0.55). Factor B tipo de aditivo (niveles presencia y ausencia). Respuesta resistencia a la compresión (MPa). El DOE permite identificar si interacción existe entre aditivo y relación A/C: Quizás aditivo mejora resistencia significativamente solo cuando A/C es baja, información crítica para diseño óptimo de mezclas.
17. Ejemplo 4 en Ingeniería Mecánica: Factor A velocidad del torno (niveles 800 y 1200 rpm). Factor B profundidad de corte (niveles 1 y 3 mm). Respuesta rugosidad superficial (Ra en μm). Análisis permite elegir parámetros óptimos de maquinado balanceando productividad (mayor velocidad y profundidad) con

calidad superficial (menor rugosidad), pudiendo encontrar combinaciones que logran ambos objetivos.

18. La interpretación de resultados del diseño experimental implica analizar cinco elementos fundamentales: (1) **Efectos principales** - determinan si cada factor tiene influencia directa sobre variable de respuesta independientemente de otros factores. (2) **Interacciones** - indican que combinación de factores cambia resultado final más allá de efectos individuales. (3) ANOVA - confirma estadísticamente si efectos observados son significativos ($p < 0.05$) o atribuibles a variación aleatoria. (4) **Modelos de regresión** - permiten crear ecuaciones predictivas útiles para simulación y control sin experimentación adicional. (5) **Optimización** - encontrar condiciones óptimas del sistema que maximizan o minimizan objetivo definido.
19. La interpretación final de diseño experimental siempre debe relacionarse con cuatro contextos fundamentales: (1) Principios físicos o químicos del sistema (coherencia teórica - resultados deben tener sentido científico). (2) Condiciones reales de operación (factibilidad práctica - condiciones óptimas deben ser implementables). (3) Limitaciones de campo o laboratorio (validez externa - resultados de laboratorio pueden diferir en escala industrial). (4) Normas técnicas o estándares (cumplimiento normativo - condiciones óptimas deben cumplir regulaciones aplicables).

⚡ Para recordar

✓ **DOE (Design of Experiments)** = Metodología fundamental en ingeniería.

✓ **Experimento bien diseñado** → Reduce Costos + Disminuye Errores + Mejora Confiabilidad (Montgomery 2017).

✓ **Usos en Ingeniería** (6)

(1) Optimizar procesos | (2) Caracterizar materiales | (3) Validar equipos | (4) Evaluar parámetros | (5) Modelar fenómenos | (6) Mejorar productos.

✓ **5 Conceptos básicos**

(1) Experimento: Manipulación deliberada de variables → Observar efecto.

(2) Factores: Variables controladas (T° , tiempo, caudal, presión, rpm, pH).

(3) Niveles: Valores específicos de factor (25°C , 35°C).

(4) Variable de respuesta: Magnitud medida (eficiencia, concentración, resistencia, ruido).

(5) Error experimental: Variación no controlada (inevitable en procesos reales).

✓ **Variables controladas (mantener constantes)**

→ Ambiental: Humedad | Viento | Distancia medición.

→ Química: Pureza reactivo | Volumen reactor.

→ Industrial: Operador | Turno | Velocidad transportador.

→ Civil: Tamaño muestra | Edad concreto.

✓ 5 Reglas para controlar

- (1) Mantener condiciones constantes todos ensayos.
- (2) Registrar cada condición controlada.
- (3) Usar equipos calibrados.
- (4) Evitar Intervenciones durante prueba.
- (5) Repetir ensayos (réplicas reducen error).

✓ Diseño completamente al azar (DCA)

- Diseño más simple.
- Cuando: Unidades homogéneas + Sin patrón espacial/temporal.
- Características:
 - Aleatorización total.
 - Ideal Laboratorio.
 - Fácil ejecutar y analizar.
- Análisis: ANOVA de un factor.
- Ejemplo: 3 temperaturas (25, 35, 45°C) × 5 muestras = 15 unidades.

✓ Diseño factorial (método más potente)

- Estudia 2+ factores simultáneamente.
- 3 ventajas:
 - (1) Evalúa efectos individuales (principales).
 - (2) Evalúa efectos combinados (interacciones) ← ¡Muy Frecuente!
 - (3) Reduce número de pruebas.

✓ Diseño factorial 2² (más simple)

- 2 factores × 2 niveles = 4 tratamientos.
- Ejemplo: Temperatura (25°C, 40°C) × Tiempo (20min, 40min).
- 4 combinaciones: (-,-), (-,+), (+,-), (+,+).
- Detecta Interacciones: Efecto A depende de nivel B.

✓ Interacciones (concepto crítico)

- Efecto de un factor depende de nivel de otro.
- Ejemplo: T° no afecta a 25°C, pero SÍ afecta a 40°C.
- Información imposible con un factor a la vez.
- Gráfico: Líneas no paralelas = Interacción presente.

✓ 7 Fases del DOE

- (1) Definir problema (objetivo claro).
- (2) Identificar factores y niveles (qué manipular).
- (3) Seleccionar tipo diseño (DCA, factorial, bloques).
- (4) Ejecutar experimento (seguir matriz, aleatorizar).
- (5) Analizar resultados (ANOVA, regresión, gráficos).
- (6) Verificar modelo (validar ecuaciones).
- (7) Implementar mejoras (aplicar condiciones óptimas).

✓ Herramientas

- Matriz de diseño | Gráficos Pareto | Gráficos interacción.
- Superficies respuesta | Software: Minitab, R, Python, JMP.

✓ 4 Ejemplos por rama

- Química: pH × Dosis coagulante → Turbidez residual.
- Ambiental: Distancia × Altura micrófono → Nivel ruido.
- Civil: A/C × Aditivo → Resistencia compresión.
- Mecánica: Velocidad torno × Profundidad corte → Rugosidad.

✓ **Interpretación (5 elementos)**

- (1) Efectos principales: Influencia directa de cada factor.
- (2) Interacciones: Efectos combinados (sinergias/antagonismos).
- (3) ANOVA: Confirma significancia ($p < 0.05$).
- (4) Modelos regresión: Ecuaciones predictivas.
- (5) Optimización: Condiciones óptimas del sistema.

✓ **Interpretación final relacionar con:**

- Principios físicos/químicos (coherencia científica).
- Condiciones reales operación (factibilidad práctica).
- Limitaciones campo/laboratorio (validez externa).
- Normas técnicas/estándares (cumplimiento normativo).

✓ **Meta DOE:** Encontrar condiciones ÓPTIMAS (Montgomery 2017).

☛ **Aplica lo aprendido**

Estos ejercicios te guiarán en el diseño, ejecución, análisis e interpretación de un experimento completo. Aplicarás los principios del DOE para optimizar un proceso o sistema relevante a tu investigación.

Ejercicio 1: Definición del problema experimental: Define claramente tu experimento: (a) Objetivo específico: ¿Qué quieres optimizar, mejorar o evaluar? (maximizar eficiencia, minimizar consumo, mejorar calidad, caracterizar material). (b) Justificación: ¿Por qué es importante hacer este experimento? ¿Qué problema práctico resuelve? (c) Variable de respuesta: ¿Qué magnitud medirás como resultado? Especifica unidades exactas (% , mg/L, MPa, dBA, m/s, etc.). (d) Criterio de éxito: ¿Cómo sabrás si el experimento fue exitoso? (valor objetivo, rango aceptable, comparación con condición actual). Sé específico y cuantitativo (5-7 líneas).

Ejercicio 2: Identificación y selección de factores: Identifica factores a estudiar: (a) Lista 3-5 factores potenciales que podrían afectar tu variable de respuesta (temperatura, tiempo, concentración, velocidad, presión, pH, caudal, etc.). (b) Para cada factor, justifica por qué crees que afecta la respuesta (base teórica, experiencia previa, literatura). (c) Priorización: De tu lista, selecciona los 2 factores más importantes para estudiar (considera impacto esperado, factibilidad de control,

costo). (d) Justifica tu selección de estos 2 factores (4-5 líneas). Si solo puedes manipular 1 factor, justifica cuál y por qué.

Ejercicio 3: Definición de niveles de factores: Para cada factor seleccionado, define niveles: (a) Rango operativo: ¿Cuál es el rango actual o típico de operación de este factor? (b) Nivel bajo (-): Especifica valor bajo que probarás. ¿Por qué elegiste este valor? (c) Nivel alto (+): Especifica valor alto que probarás. ¿Por qué elegiste este valor? (d) Justificación del rango: ¿El rango elegido es suficientemente amplio para detectar efectos pero factible de implementar? ¿Está dentro de límites de seguridad, capacidad de equipos, o normas? (e) Si tienes 2 factores, haz esto para ambos. Presenta en tabla: Factor | Rango operativo | Nivel bajo | Nivel alto.

Ejercicio 4: Identificación de variables controladas: Lista variables que debes mantener constantes: (a) Identifica 5-8 variables que podrían afectar tu respuesta pero que no son factores de estudio. Consulta ejemplos del capítulo según tu rama (ambiental, química, industrial, civil, mecánica). (b) Para cada variable controlada, especifica: qué es, por qué debe mantenerse constante, en qué valor la mantendrás. (c) ¿Cómo garantizarás que permanecen constantes? (equipos calibrados, procedimientos, mediciones de verificación). (d) ¿Hay alguna variable que no puedas controlar? Si es así, ¿Cómo afectará esto tus resultados? ¿La incluirás como covariable?

Ejercicio 5: Selección del tipo de diseño: Decide qué diseño usarás: (a) ¿Estudiarás 1 factor o 2+ factores? (b) Si 1 factor: usarás DCA (Diseño Completamente al Azar). ¿Cuántos niveles del factor? ¿Cuántas réplicas por nivel? Total de unidades experimentales = niveles \times réplicas. (c) Si 2+ factores: usarás diseño Factorial 2^2 (2 factores, 2 niveles), 3^2 (2 factores, 3 niveles), 2^3 (3 factores, 2 niveles)? Total de tratamientos = producto de niveles. ¿Cuántas réplicas por tratamiento? Total unidades = tratamientos \times réplicas. (d) Justifica tu diseño: ¿Por qué es apropiado? ¿Es factible con tus recursos (tiempo, materiales, equipos)?

Ejercicio 6: Construcción de la matriz de diseño: Crea tu matriz de diseño experimental: (a) Si DCA con 1 factor: diseña tabla con columnas: Unidad experimental | Tratamiento (nivel del factor) | Orden de ejecución (aleatorizado) | Variable respuesta (dejar en blanco para llenar durante experimento). (b) Si Factorial 2²: Diseña tabla con columnas: Corrida | Factor A (nivel) | Factor B (nivel) | Codificación (-/+) | Orden aleatorio | Réplica | Variable respuesta. Lista todas las combinaciones: (-,-), (-,+), (+,-), (+,+), repetidas según número de réplicas. (c) Aleatoriza el orden de ejecución usando números aleatorios. (d) Tu matriz debe ser clara y lista para llevar al laboratorio.

Ejercicio 7: Planificación de la ejecución: Planifica cómo ejecutarás el experimento: (a) Procedimiento: escribe paso a paso cómo prepararás cada unidad experimental, aplicarás tratamientos, y medirás respuesta (8-12 pasos detallados). (b) Equipos e instrumentos: lista completa de equipos necesarios con especificaciones (modelos, rangos, fechas de calibración). (c) Materiales y reactivos: lista con cantidades necesarias calculadas (considerando réplicas y posibles pérdidas). (d) Cronograma: ¿Cuánto tiempo tomará cada corrida? ¿Cuánto tiempo total el experimento completo? (e) Personal: ¿Necesitas ayuda? ¿Quién ejecutará? (f) Seguridad: ¿Pueé precauciones de seguridad son necesarias?

Ejercicio 8: Planificación del análisis estadístico: Planifica cómo analizarás tus datos: (a) Si DCA: usarás ANOVA de un factor. ¿Con qué software? (Excel, Minitab, R, Python). Hipótesis: H₀: todas las medias son iguales vs H₁: al menos una media difiere. (b) Si Factorial: usarás ANOVA factorial. Hipótesis para efectos principales de cada factor e interacciones. (c) ¿Verificarás supuestos? (normalidad con Shapiro-Wilk, homocedasticidad con Levene, independencia); (d) ¿Qué gráficos generarás? (boxplot por tratamiento, gráficos de interacción si factorial, gráficos de efectos principales). (e) ¿Calcularás modelo de regresión? Si es así, ¿Qué forma? (lineal, cuadrático).

Ejercicio 9: Interpretación esperada de resultados: Anticipa cómo interpretarás resultados: (a) Efectos principales: si factor(es) resultan significativos ($p < 0.05$), ¿qué significará técnicamente? ¿Es coherente con teoría? (b) Interacciones (si factorial): si interacción es significativa, ¿Qué implicaciones tiene? ¿El efecto de un factor depende del otro? (c) Comparación con estándares: ¿Contra qué normas o valores de referencia compararás tus resultados? (ISO, EPA, valores actuales del proceso). (d) Optimización: ¿Cómo determinarás las condiciones óptimas? ¿Buscarás maximizar o minimizar la respuesta? (e) Factibilidad Práctica: si condiciones óptimas son diferentes a actuales, ¿Serán implementables en la práctica?

Ejercicio 10: Diseño experimental completo documentado: Redacta la sección completa de diseño experimental para tu proyecto: Párrafo 1: Objetivo del experimento y variable de respuesta (3-4 líneas). Párrafo 2: Factores estudiados con niveles especificados y justificación (4-5 líneas). Párrafo 3: Variables controladas y cómo se mantuvieron constantes (3-4 líneas). Párrafo 4: Tipo de diseño seleccionado (DCA o factorial), número de tratamientos, número de réplicas, total de unidades experimentales, con justificación (4-5 líneas). Párrafo 5: Procedimiento de ejecución resumido (4-5 líneas). Párrafo 6: Análisis estadístico planificado (ANOVA, pruebas post-hoc, $\alpha = 0.05$) (3-4 líneas). Incluye referencia a matriz de diseño como tabla.

→ Siguiendo paso

¡Excelente trabajo! Has diseñado un experimento completo con factores, niveles, variables controladas, tipo de diseño apropiado y matriz experimental. Tienes un plan riguroso para ejecutar, analizar e interpretar resultados que te permitirá encontrar condiciones óptimas de tu sistema. El diseño experimental te da poder para estudiar relaciones causa-efecto con validez estadística. Ahora que dominas cómo diseñar experimentos para optimizar, el siguiente paso es aprender técnicas sistemáticas de optimización.

En el Capítulo 13 - "Optimización Ingenieril", aprenderás que optimizar es una competencia central en toda rama de la ingeniería. Según Hillier y Lieberman (2021), optimizar consiste en elegir la mejor alternativa entre un conjunto de opciones posibles, bajo criterios y restricciones definidos. En ingeniería, esto significa maximizar eficiencia, minimizar costos, mejorar rendimiento o encontrar la combinación ideal de parámetros.

Conocerás **qué es optimizar**: Encontrar la mejor solución posible dentro de un problema real, considerando limitaciones y objetivos. En ingeniería se optimiza para seis propósitos: reducir consumo energético, mejorar calidad del producto, aumentar eficiencia de proceso, minimizar residuos y emisiones, aumentar vida útil de materiales/equipos, obtener configuraciones ideales de diseño.

Aprenderás los cuatro tipos de optimización: (1) **Continua** - variables toman valores reales (temperatura, velocidad, caudal). (2) **Discreta** - variables toman valores específicos (número de máquinas, rutas, lotes). (3) **Multiobjetivo** - optimizar simultáneamente dos o más objetivos (costo-calidad, eficiencia-emisiones). (4) **Bajo Incertidumbre** - condiciones variables o estocásticas. Según Deb (2001), optimización moderna considera simultáneamente restricciones, variabilidad, complejidad y criterios múltiples.

Dominarás los **modelos matemáticos** que representan sistema real mediante ecuaciones y restricciones, con tres componentes: (1) **Variables de decisión** (x) - valores a determinar (caudal, temperatura, velocidad, mezcla, costo). (2) **Función objetivo** $f(x)$ - expresión que se quiere minimizar o maximizar (minimizar costos, maximizar eficiencia). (3) **Restricciones** - condiciones que deben cumplirse (capacidad máxima, límites normativos, disponibilidad recursos).

Conocerás métodos de optimización clásicos y modernos, herramientas computacionales (Excel Solver, MATLAB, Python scipy.optimize), y aplicaciones en diferentes ramas de ingeniería.

Prepárate para convertirte en ingeniero optimizador, capaz de encontrar soluciones óptimas a problemas complejos con múltiples variables, restricciones y objetivos, maximizando valor y eficiencia de sistemas.



***¡Felicitaciones por completar el Capítulo 12!
Has dominado el diseño experimental y puedes encontrar condiciones óptimas con rigor.
Ahora es momento de aprender técnicas formales de optimización matemática.***

Capítulo 13

**Optimización
ingenieril**

Optimización aplicada a la ingeniería

La optimización es una de las competencias centrales en toda rama de la ingeniería.

Según Hillier y Lieberman (2021), optimizar consiste en elegir la mejor alternativa entre un conjunto de opciones posibles, bajo criterios y restricciones definidos.

En ingeniería, esto significa maximizar la eficiencia, minimizar los costos, mejorar el rendimiento o encontrar la combinación ideal de parámetros en un sistema físico, químico, ambiental o computacional.

13.1. ¿Qué es optimizar?

Optimizar significa **encontrar la mejor solución posible** dentro de un problema real, considerando limitaciones y objetivos.

En ingeniería se optimiza para:

- Reducir consumo energético.
- Mejorar la calidad del producto.
- Aumentar la eficiencia de un proceso.
- Minimizar residuos y emisiones.
- Aumentar la vida útil de materiales o equipos.
- Obtener configuraciones ideales de diseño.

Tipos de optimización en ingeniería:

1. **Optimización continua:** Variables toman valores reales (temperatura, velocidad, caudal).
2. **Optimización discreta:** Variables sólo toman valores específicos (número de máquinas, rutas, lotes).
3. **Optimización multiobjetivo:** Se optimizan simultáneamente dos o más objetivos (costo–calidad, eficiencia–emisiones).
4. **Optimización bajo incertidumbre:** Condiciones variables o estocásticas.

Según Deb (2001), la optimización moderna considera simultáneamente restricciones, variabilidad, complejidad y criterios múltiples.

13.2. Modelos matemáticos

Un modelo matemático de optimización representa un sistema real mediante ecuaciones y restricciones.

Una formulación típica incluye:

Componentes del modelo

1. **Variables de decisión (x):** valores que se desean determinar.
 - Ejemplo: caudal, temperatura, velocidad, mezcla, costo.
2. **Función objetivo (f(x)):** expresión que se quiere minimizar o maximizar.
 - Minimizar costos:

$$\text{Min } f(x) = C_1x_1 + C_2x_2$$

- Maximizar eficiencia:

$$\text{Max } f(x) = \eta(x)$$

3. **Restricciones (g(x)):** limitaciones técnicas o físicas

- Balance de masa.
- Normas de emisiones.
- Límites de velocidad.
- Presión máxima.
- Presupuesto disponible.

4. **Región factible:** conjunto de valores que cumplen las restricciones.

Ejemplo sencillo

Optimizar la mezcla de dos materiales A y B para obtener resistencia máxima:

- Variable: proporción de A (x), proporción de B ($1 - x$).
- Función objetivo: resistencia $R(x)$.
- Restricción: $0 \leq x \leq 1$.

Este tipo de modelo permite encontrar el punto óptimo con herramientas numéricas.

13.3. Métodos numéricos

Los métodos numéricos permiten resolver modelos cuando las ecuaciones no pueden resolverse de forma analítica.

Según Chapra y Canale (2015), los métodos más usados en ingeniería son:

1. Métodos de optimización sin restricciones

- Método de gradiente.
- Método de Newton-Raphson.
- Descenso del gradiente (Gradient Descent).
- Búsqueda unidimensional (Golden Section Search).

Aplicación: optimizar temperatura, presión, tiempos de proceso, mezcla en reactores.

2. Métodos con restricciones

- Método de los multiplicadores de Lagrange.
- Programación lineal (Simplex).
- Programación no lineal.
- Programación entera.

Aplicación: logística, planificación de producción, asignación de recursos.

3. Métodos metaheurísticos

Usados cuando el problema es demasiado complejo para métodos clásicos.

- Algoritmos genéticos (GA).
- Optimización por enjambre de partículas (PSO).
- Recocido simulado (SA).
- Búsqueda tabú.

Deb (2001) señala que estos métodos son ideales para optimización multiobjetivo y sistemas ingenieriles con múltiples variables.

4. Métodos de superficie de respuesta (RSM)

Basados en modelos estadísticos y experimentales.

Muy útiles en ingeniería química y ambiental.

Se combina DOE (Capítulo 12) + regresión para obtener superficies 3D de optimización.

13.4. Software de optimización

El uso de software facilita la solución de problemas reales de ingeniería.

1. Excel Solver

Adecuado para:

- Optimización lineal.
- Problemas pequeños.
- Mezcla de recursos.
- Costos mínimos.

2. PYTHON

Bibliotecas recomendadas:

- **SciPy.optimize.**
- **PuLP.**

- **Pyomo.**
- **DEAP** (algoritmos evolutivos).

Excelente para ingeniería de datos, simulación y optimización de procesos complejos.

3. MATLAB

Incluye herramientas avanzadas:

- Optimization Toolbox.
- Global Optimization Toolbox.
- Simulink para modelos dinámicos.

Muy usado en ingeniería mecánica, eléctrica y control.

4. R

Paquetes como:

- **GA** (genetic algorithms).
- **nloptr** (non-linear optimization).

5. Minitab – RSM

Ideal para procesos industriales, DOE y optimización experimental.

6. ANSYS / COMSOL

Usados en ingeniería mecánica y civil:

- Optimización estructural.
- Optimizaciones de fluidos (CFD).
- Transferencia de calor.

13.5. Ejemplos aplicados

Ejemplo 1: Ingeniería Química.

Optimizar la temperatura y tiempo de reacción para maximizar el rendimiento del bioetanol.

- Modelo: $R = f(T, t)$.
- Método: superficie de respuesta (RSM).
- Resultado: combinación óptima T^* y t^* que maximiza producción.

Ejemplo 2: Ingeniería Ambiental.

Optimizar la dosis de coagulante para minimizar turbidez y costo.

- Variables: dosis, pH.
- Software: Excel Solver o Python.
- Resultado: dosis óptima que cumple norma + menor costo.

Ejemplo 3: Ingeniería Civil

Optimizar la relación agua/cemento y tipo de aditivo para maximizar resistencia.

- Modelo: $f(x, y) = \text{Resistencia}$.
- Método: diseño factorial + RSM.
- Software: Minitab.
- Resultado: combinación óptima de materiales.

Ejemplo 4: Ingeniería Industrial.

Optimizar distribución de personal en una planta.

- Método: programación lineal (Simplex).

- Resultado: asignación mínima de costos cumpliendo capacidad.

Ejemplo 5: Ingeniería Mecánica.

Optimizar la velocidad y profundidad de corte para minimizar rugosidad.

- Método: algoritmos genéticos.
- Software: MATLAB o Python.
- Resultado: parámetros óptimos de maquinado.

Ejemplo 6: Ingeniería de Sistemas.

Optimizar el tiempo de respuesta de un algoritmo.

- Variable: número de hilos, tamaño de buffer.
- Método: PSO.
- Resultado: configuración que reduce tiempo computacional.

Optimización aplicada a la ingeniería

■ Resumen del capítulo

Este capítulo presentó la optimización como una de las competencias centrales en toda rama de la ingeniería. Según Hillier y Lieberman (2021), optimizar consiste en elegir la mejor alternativa entre un conjunto de opciones posibles, bajo criterios y restricciones definidos. En ingeniería, esto significa maximizar eficiencia, minimizar costos, mejorar rendimiento o encontrar la combinación ideal de parámetros en un sistema físico, químico, ambiental o computacional. Se explicó **qué es optimizar**: encontrar la mejor solución posible dentro de un problema real, considerando limitaciones y objetivos, con seis propósitos en ingeniería: reducir consumo energético, mejorar calidad del producto, aumentar eficiencia de proceso, minimizar residuos y emisiones, aumentar vida útil de materiales o equipos, obtener configuraciones ideales de diseño. Se presentaron cuatro **tipos de optimización**: (1) continua donde variables toman valores reales (temperatura, velocidad, caudal); (2) discreta donde variables toman valores específicos (número de máquinas, rutas, lotes); (3) multiobjetivo donde se optimizan simultáneamente dos o más objetivos (costo-calidad, eficiencia-emisiones); (4) bajo incertidumbre con condiciones variables o estocásticas, destacando que según Deb (2001) la optimización moderna considera simultáneamente restricciones, variabilidad, complejidad y criterios múltiples. Se explicaron los **modelos matemáticos** que representan sistema real mediante ecuaciones y restricciones, con cuatro componentes: (1) variables de decisión x (valores a determinar como caudal, temperatura, velocidad, mezcla, costo); (2) función objetivo $f(x)$ (expresión a minimizar o maximizar como costos o eficiencia); (3) restricciones $g(x)$ (limitaciones técnicas o físicas como balance de masa, normas de emisiones, límites de velocidad, presión

máxima, presupuesto disponible); (4) región factible (conjunto de valores que cumplen restricciones), con ejemplo sencillo de optimizar mezcla de dos materiales A y B para obtener resistencia máxima. Se presentaron los **métodos numéricos** divididos en cuatro categorías: (1) sin restricciones (método de gradiente, Newton-Raphson, descenso del gradiente, búsqueda unidimensional Golden Section) para optimizar temperatura, presión, tiempos, mezcla en reactores; (2) con restricciones (multiplicadores de Lagrange, programación lineal Simplex, programación no lineal, programación entera) para logística, planificación de producción, asignación de recursos; (3) metaheurísticos (algoritmos genéticos GA, optimización por enjambre de partículas PSO, recocido simulado SA, búsqueda tabú) ideales para optimización multiobjetivo y sistemas con múltiples variables según Deb (2001); (4) superficie de respuesta RSM basados en modelos estadísticos y experimentales, combinando DOE del Capítulo 12 con regresión para obtener superficies 3D de optimización, muy útiles en ingeniería química y ambiental. Se presentó el **software de optimización** con seis herramientas: Excel Solver (adecuado para optimización lineal, problemas pequeños, mezcla de recursos, costos mínimos); Python (bibliotecas SciPy.optimize, PuLP, Pyomo, DEAP para algoritmos evolutivos, excelente para ingeniería de datos y procesos complejos); MATLAB (Optimization Toolbox, Global Optimization Toolbox, Simulink para modelos dinámicos, usado en mecánica, eléctrica, control); R (paquetes GA, nloptr); Minitab-RSM (ideal para procesos industriales y DOE experimental); ANSYS/COMSOL (optimización estructural, CFD, transferencia de calor en mecánica y civil). Finalmente, se proporcionaron seis **ejemplos aplicados** por rama: química (optimizar temperatura y tiempo para maximizar rendimiento de bioetanol usando RSM); ambiental (optimizar dosis de coagulante y pH para minimizar turbidez y costo con Excel/Python); civil (optimizar relación agua/cemento y aditivo para maximizar resistencia con diseño factorial+RSM en Minitab); industrial (optimizar distribución de personal con programación lineal Simplex para minimizar costos); mecánica (optimizar velocidad y profundidad de corte para minimizar rugosidad con algoritmos genéticos en MATLAB/Python); sistemas (optimizar tiempo de respuesta de algoritmo manipulando hilos y buffer con PSO).

🔑 Conceptos clave

- **Optimización:** Competencia central en ingeniería que consiste en elegir la mejor alternativa entre un conjunto de opciones posibles, bajo criterios y restricciones definidos, según Hillier y Lieberman (2021). En ingeniería significa maximizar eficiencia, minimizar costos, mejorar rendimiento o encontrar combinación ideal de parámetros.
- **Mejor solución posible:** Solución óptima dentro de un problema real que considera simultáneamente limitaciones técnicas, restricciones operativas, objetivos específicos y factibilidad práctica, no siendo necesariamente la solución ideal teórica sino la mejor implementable.
- **Optimización continua:** Tipo de optimización donde variables de decisión pueden tomar cualquier valor real dentro de un rango continuo. Ejemplos en ingeniería: temperatura (25.3°C, 25.35°C, etc.), velocidad de flujo, concentración, presión, permitiendo ajuste fino de parámetros.
- **Optimización discreta:** Tipo de optimización donde variables de decisión solo pueden tomar valores específicos discretos, generalmente enteros. Ejemplos: número de máquinas (1, 2, 3, no 2.5), número de rutas a seguir, tamaños de lotes de producción, siendo común en planificación y logística.
- **Optimización multiobjetivo:** Tipo de optimización que busca optimizar simultáneamente dos o más objetivos que frecuentemente están en conflicto. Ejemplos: minimizar costo mientras se maximiza calidad, maximizar eficiencia mientras se minimizan emisiones, requiriendo soluciones de compromiso (trade-off) mediante frente de Pareto.
- **Optimización bajo incertidumbre:** Tipo de optimización que considera condiciones variables o estocásticas donde parámetros del problema no son conocidos con certeza. Incluye variabilidad en demanda, precios fluctuantes, condiciones ambientales cambiantes, requiriendo métodos robustos o estocásticos.
- **Modelo matemático de optimización:** Representación formal de sistema real mediante ecuaciones matemáticas y restricciones que permite encontrar solución óptima de manera sistemática. Incluye variables de decisión, función objetivo y restricciones que capturan esencia del problema ingenieril.
- **Variables de decisión:** Variables cuyos valores se desean determinar para optimizar el sistema, representadas típicamente como x_1, x_2, \dots, x_n . Ejemplos en ingeniería: caudal a establecer, temperatura de operación, velocidad de máquina, proporción de mezcla, costo asignado a cada actividad.
- **Función objetivo:** Expresión matemática $f(x)$ que se desea minimizar o maximizar, representando el criterio de desempeño del sistema. Ejemplos: minimizar $f(x)=C_1x_1+C_2x_2$ (costo total), maximizar $f(x)=\eta(x)$ (eficiencia), minimizar $f(x)=E(x)$ (consumo energético).
- **Restricciones:** Limitaciones técnicas, físicas, económicas o normativas representadas como ecuaciones o desigualdades $g(x)$ que las variables de decisión deben satisfacer. Ejemplos: balance de masa (entrada=salida), normas de emisiones (concentración \leq límite), límites de velocidad ($v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$), presión máxima ($P \leq P_{\max}$), presupuesto disponible ($\sum \text{costos} \leq \text{presupuesto}$).

- **Región factible:** Conjunto de todos los valores de variables de decisión que satisfacen simultáneamente todas las restricciones del problema. La solución óptima siempre debe estar dentro de la región factible, pudiendo estar en el interior o en la frontera de esta región.
- **Métodos sin restricciones:** Métodos de optimización que buscan extremos de función objetivo sin considerar restricciones explícitas. Incluyen: método de gradiente (dirección de mayor cambio); Newton-Raphson (usa segunda derivada), descenso del gradiente (iterativo); búsqueda unidimensional Golden Section (localiza óptimo en intervalo).
- **Métodos con restricciones:** Métodos de optimización que consideran explícitamente restricciones del problema. Incluyen: multiplicadores de Lagrange (condiciones óptimas con restricciones); programación lineal método Simplex (función y restricciones lineales); programación no lineal (funciones no lineales); programación entera (variables discretas).
- **Métodos metaheurísticos:** Algoritmos de optimización inspirados en fenómenos naturales o procesos biológicos, usados cuando problema es demasiado complejo para métodos clásicos. No garantizan óptimo global pero encuentran soluciones muy buenas en tiempo razonable, siendo ideales para problemas multiobjetivo y múltiples variables.
- **Algoritmos genéticos (GA):** Método metaheurístico inspirado en evolución biológica que usa operadores de selección, cruce y mutación para evolucionar población de soluciones hacia óptimo. Excelente para problemas complejos, multimodales y con múltiples variables, ampliamente usado en ingeniería mecánica y sistemas.
- **Optimización por enjambre de partículas (PSO):** Método metaheurístico inspirado en comportamiento social de aves o peces donde partículas (soluciones) se mueven en espacio de búsqueda influenciadas por mejor posición propia y mejor posición del enjambre, convergiendo hacia óptimo. Usado en optimización de parámetros de sistemas y algoritmos.
- **Recocido simulado (Simulated Annealing - SA):** Método metaheurístico inspirado en proceso metalúrgico de recocido donde material se calienta y enfría controladamente. Permite movimientos hacia soluciones peores con probabilidad decreciente, escapando de óptimos locales para encontrar óptimo global, útil en problemas combinatorios.
- **Método de superficie de respuesta (RSM):** Metodología que combina diseño experimental (DOE) con análisis de regresión para construir modelo matemático empírico (usualmente cuadrático) que relaciona variables de entrada con respuesta, generando superficie 3D que permite visualizar y optimizar proceso. Muy útil en química y ambiental.
- **Programación lineal:** Técnica de optimización donde tanto función objetivo como restricciones son funciones lineales de variables de decisión. Método Simplex es algoritmo estándar que encuentra solución óptima moviéndose por vértices de región factible. Ampliamente usado en asignación de recursos, planificación producción, logística.

- **Excel Solver:** Complemento de Excel que resuelve problemas de optimización lineal, no lineal y entera de tamaño pequeño a mediano. Adecuado para: mezcla de recursos, minimización de costos, problemas de transporte, asignación, siendo accesible y ampliamente disponible para ingenieros.
- **Python para optimización:** Lenguaje con potentes bibliotecas para optimización: SciPy.optimize (métodos clásicos); PuLP (programación lineal); Pyomo (modelado algebraico avanzado); DEAP (algoritmos evolutivos). Excelente para ingeniería de datos, simulación y optimización de procesos complejos con capacidad de automatización.
- **MATLAB para optimización:** Software técnico con toolboxes especializados: Optimization Toolbox (métodos clásicos); Global Optimization Toolbox (metaheurísticos); Simulink (sistemas dinámicos). Muy usado en ingeniería mecánica, eléctrica y control para optimización de sistemas complejos con interfaces gráficas.
- **ANSYS/COMSOL:** Software de simulación por elementos finitos usado en ingeniería mecánica y civil para optimización estructural, optimización de fluidos (CFD), transferencia de calor. Permite optimización paramétrica de diseños complejos minimizando peso, esfuerzos, o mejorando desempeño térmico/aerodinámico.

💡 Ideas principales

1. La optimización es competencia central en toda rama de la ingeniería porque permite elegir sistemáticamente la mejor alternativa entre opciones posibles considerando criterios (qué queremos lograr) y restricciones (qué limitaciones tenemos), según Hillier y Lieberman (2021). No es intuición o prueba-error sino metodología matemática rigurosa.
2. En ingeniería, optimizar significa cuatro acciones fundamentales: maximizar eficiencia (obtener máximo rendimiento con recursos dados); minimizar costos (lograr objetivos con mínimo gasto); mejorar rendimiento (superar desempeño actual); o encontrar combinación ideal de parámetros (balance óptimo de múltiples variables) en sistemas físicos, químicos, ambientales o computacionales.
3. Los seis propósitos principales de optimización en ingeniería son: (1) Reducir consumo energético (eficiencia energética, sostenibilidad). (2) Mejorar calidad del producto (cumplir especificaciones con menor variabilidad); (3) Aumentar eficiencia de proceso (mayor productividad, menos desperdicios). (4) Minimizar residuos y emisiones (cumplimiento normativo, impacto ambiental). (5) Aumentar vida útil de materiales o equipos (diseño robusto, menor mantenimiento). (6) Obtener configuraciones ideales de diseño (balance óptimo de características).
4. Los cuatro tipos de optimización en ingeniería son: (1) Continua - variables toman valores reales (temperatura 25.37°C, velocidad 3.456 m/s, ajuste fino posible). (2) Discreta - variables toman valores específicos (3 máquinas, no 2.7 máquinas; ruta A o B, no 60% de cada). (3) Multiobjetivo - optimizar

simultáneamente objetivos en conflicto (minimizar costo Y maximizar calidad, soluciones de compromiso en frente de Pareto). (4) Bajo incertidumbre - parámetros variables o estocásticos (demanda fluctuante, condiciones ambientales cambiantes, requiere métodos robustos).

5. Según Deb (2001), la optimización moderna no considera factores aisladamente sino que considera simultáneamente cuatro aspectos: restricciones (múltiples limitaciones técnicas, físicas, económicas); variabilidad (incertidumbre en parámetros, tolerancias); complejidad (múltiples variables interactuando, no linealidades); y criterios múltiples (objetivos diversos potencialmente conflictivos). Esta visión integrada refleja realidad de problemas ingenieriles.
6. Un modelo matemático de optimización representa sistema real mediante ecuaciones y restricciones con cuatro componentes obligatorios: (1) Variables de decisión x (valores a determinar: caudal, temperatura, velocidad, mezcla, costo). (2) Función objetivo $f(x)$ (expresión a minimizar o maximizar: costo total, eficiencia, energía). (3) Restricciones $g(x)$ (limitaciones que deben cumplirse: balance de masa, normas, límites físicos, presupuesto). (4) Región factible (conjunto de valores que satisfacen todas restricciones simultáneamente). Solución óptima está en región factible.
7. Ejemplo conceptual simple: optimizar mezcla de dos materiales A y B para obtener resistencia máxima. Variable de decisión: proporción de A (x), proporción de B es $(1-x)$. Función objetivo: resistencia $R(x)$ que se quiere Maximizar. Restricción: $0 \leq x \leq 1$ (proporciones físicamente válidas). Este modelo permite encontrar punto óptimo (x^*) donde resistencia es máxima usando herramientas numéricas.
8. Los métodos numéricos permiten resolver modelos cuando ecuaciones no pueden resolverse analíticamente (forma cerrada), lo cual es frecuente en problemas ingenieriles reales. Según Chapra y Canale (2015), se dividen en cuatro categorías según complejidad del problema y tipo de restricciones consideradas.
9. Los métodos de optimización sin restricciones buscan extremos de función objetivo sin considerar restricciones explícitas, incluyendo cuatro principales: (1) Método de Gradiente - sigue dirección de mayor cambio de función. (2) Newton-Raphson - usa segunda derivada para convergencia rápida. (3) Descenso del Gradiente (Gradient Descent) - método iterativo moviéndose contra gradiente. (4) Búsqueda unidimensional Golden Section - localiza óptimo en intervalo dividiendo proporción áurea. Aplicación: optimizar temperatura, presión, tiempos de proceso, mezcla en reactores.
10. Los métodos con restricciones consideran explícitamente limitaciones del problema, incluyendo cuatro principales: (1) Multiplicadores de Lagrange - encuentra condiciones óptimas con restricciones de igualdad. (2) Programación lineal método Simplex - función objetivo y restricciones lineales. (3) Programación no lineal - funciones no lineales, más complejo. (4) Programación entera - variables discretas (enteros). Aplicación: logística (rutas, transporte), planificación de producción (cantidades a fabricar), asignación de recursos (personal, equipos, presupuesto).

11. Los métodos Metaheurísticos se usan cuando problema es demasiado complejo para métodos clásicos (muchas variables, no lineal, multimodal, restricciones complicadas). Incluyen: (1) Algoritmos Genéticos GA - evolución biológica con selección, cruce, mutación. (2) Optimización por Enjambre de Partículas PSO - comportamiento social de aves/peces. (3) Recocido Simulado SA - proceso metalúrgico, acepta soluciones peores para escapar óptimos locales. (4) Búsqueda Tabú - memoria de soluciones visitadas evitando ciclos. Deb (2001) señala que son ideales para optimización multiobjetivo y sistemas ingenieriles con múltiples variables.
12. El Método de Superficie de Respuesta (RSM) combina diseño experimental (DOE del Capítulo 12) con análisis de regresión para construir modelo empírico (usualmente cuadrático) que relaciona variables con respuesta. Se ejecuta DOE (factorial o diseño central compuesto), se mide respuesta en cada punto, se ajusta modelo de regresión, se genera superficie 3D visualizando comportamiento, se identifica región óptima. Muy útil en ingeniería química y ambiental donde experimentos son costosos o lentos.
13. Excel Solver es herramienta adecuada para optimización lineal, problemas pequeños (hasta ~200 variables), mezcla de recursos (optimizar combinación de ingredientes/materiales), costos mínimos (minimizar gastos cumpliendo requisitos). Ventajas: accesible (incluido en Excel), interfaz gráfica amigable, no requiere programación. Limitaciones: tamaño limitado, no adecuado para problemas grandes o muy no lineales.
14. Python es excelente para optimización por cuatro bibliotecas poderosas: (1) SciPy.optimize - métodos clásicos (minimize, linprog, curve_fit). (2) PuLP - programación lineal de fácil sintaxis. (3) Pyomo - modelado algebraico avanzado para problemas complejos. (4) DEAP - algoritmos evolutivos (GA, PSO). Ventajas: gratuito, código reutilizable y automatizable, integración con análisis de datos, excelente para ingeniería de datos, simulación y optimización de procesos complejos. Ideal para repetir optimización con diferentes escenarios.
15. MATLAB es muy usado en ingeniería mecánica, eléctrica y control por tres toolboxes especializados: (1) Optimization Toolbox - métodos clásicos (fmincon, linprog, quadprog). (2) Global Optimization Toolbox - metaheurísticos (GA, PSO, simulated annealing). (3) SIMULINK - optimización de sistemas dinámicos (control, respuesta temporal). Ventajas: potente, documentación excelente, interfaz gráfica. Limitación: requiere licencia costosa.
16. R proporciona paquetes especializados: GA (genetic algorithms) para metaheurísticos, nloptr (non-linear optimization) para optimización no lineal. Minitab-RSM es ideal para procesos industriales combinando DOE con optimización experimental. ANSYS/COMSOL se usan en ingeniería mecánica y civil para optimización estructural (minimizar peso manteniendo resistencia), optimización de fluidos CFD (mejorar aerodinámica), transferencia de calor (distribución óptima de aletas).
17. Los seis ejemplos aplicados muestran diversidad de problemas y métodos: (1) Química - optimizar temperatura y tiempo de reacción para maximizar

- rendimiento de bioetanol usando RSM encontrando T^* y t^* óptimos. (2) Ambiental - optimizar dosis de coagulante y pH para minimizar turbidez y costo con Excel/Python encontrando dosis óptima que cumple norma a menor costo. (3) Civil - optimizar relación agua/cemento y tipo de aditivo para maximizar resistencia con diseño factorial+RSM en Minitab. (4) Industrial - optimizar distribución de personal en planta con programación lineal Simplex para asignación de mínimo costo cumpliendo capacidad. (5) Mecánica - optimizar velocidad y profundidad de corte para minimizar rugosidad superficial con algoritmos genéticos en MATLAB/Python. (6) Sistemas - optimizar tiempo de respuesta de algoritmo manipulando número de hilos y tamaño de buffer con PSO para configuración que reduce tiempo computacional.
- 18.** La optimización cierra el ciclo de investigación aplicada en ingeniería: después de diseñar experimentos (Capítulo 12) para entender relaciones causa-efecto, se usan modelos matemáticos y métodos de optimización (Capítulo 13) para encontrar condiciones óptimas de operación, logrando el objetivo final de mejorar desempeño de sistemas ingenieriles de manera sistemática, cuantificable y reproducible.

⚡ Para recordar

- ✓ **Optimización** = Competencia central en toda ingeniería.
- ✓ **Hillier y Lieberman (2021)**: Elegir mejor alternativa bajo criterios y restricciones.
- ✓ **En ingeniería significa:**
 - Maximizar eficiencia | Minimizar costos.
 - Mejorar rendimiento | Encontrar combinación ideal.
- ✓ **6 Propósitos:**
 - (1) Reducir consumo energético.
 - (2) Mejorar calidad producto.
 - (3) Aumentar eficiencia proceso.
 - (4) Minimizar residuos y emisiones.
 - (5) Aumentar vida útil materiales/equipos.
 - (6) Obtener configuraciones ideales diseño.
- ✓ **4 Tipos de optimización:**
 - (1) Continua: Variables valores reales (T° , velocidad, caudal).
 - (2) Discreta: Variables valores específicos (# máquinas, rutas, lotes).
 - (3) Multiobjetivo: 2+ objetivos simultáneos (costo-calidad, eficiencia-emisiones).
 - (4) Bajo incertidumbre: Condiciones variables/estocásticas.
- ✓ **Deb (2001)**: Optimización moderna considera simultáneamente:
 - Restricciones + Variabilidad + Complejidad + Criterios múltiples.
- ✓ **Modelo matemático (4 componentes)**
 - (1) Variables decisión (x): Valores a determinar.
 - Ejemplo: caudal, T° , velocidad, mezcla, costo.

(2) Función objetivo $f(x)$: Expresión a Min o Max.

- Min: $f(x) = C_1x_1 + C_2x_2$ (costo).
- Max: $f(x) = \eta(x)$ (eficiencia).

(3) Restricciones $g(x)$: Limitaciones.

- Balance masa | Normas emisiones | Límites velocidad.
- Presión máxima | Presupuesto disponible.

(4) Región factible: Valores que cumplen restricciones.

✓ Métodos numéricos (4 categorías)

(1) Sin restricciones.

- Gradiente | Newton-Raphson | Descenso gradiente | Golden Section
→ Aplicación: T° , presión, tiempos, mezcla reactores.

(2) Con restricciones.

- Multiplicadores Lagrange | Programación lineal (Simplex).
- Programación no lineal | Programación entera.
→ Aplicación: Logística, planificación producción, asignación recursos.

(3) Metaheurísticos (problemas complejos).

- Algoritmos Genéticos (GA): Evolución biológica.
- Enjambre Partículas (PSO): Comportamiento social.
- Recocido Simulado (SA): Proceso metalúrgico.
- Búsqueda Tabú: Memoria soluciones.
→ Ideales: Multiobjetivo + Múltiples variables (Deb 2001).

(4) Superficie respuesta (RSM).

- DOE (Cap 12) + Regresión = Superficie 3D optimización.
- Muy útil: Química y Ambiental.

✓ Software (6 herramientas)

(1) Excel Solver

- Lineal, problemas pequeños, mezcla recursos, costos mínimos
- Ventaja: Accesible, amigable.

(2) Python

- SciPy.optimize | PuLP | Pyomo | DEAP (evolutivos)
- Excelente: Datos, simulación, procesos complejos.

(3) Matlab

- Optimization Toolbox | Global Optimization | Simulink
- Usado: Mecánica, Eléctrica, Control.

(4) R: GA | nloptr.

(5) MINITAB-RSM: Procesos industriales + DOE.

(6) ANSYS/COMSOL

- Optimización estructural | CFD | Transferencia calor.

✓ 6 Ejemplos aplicados

- Química: $T^\circ \times$ tiempo → Max rendimiento bioetanol (RSM).
- Ambiental: Dosis \times pH → Min turbidez + costo (Excel/Python).
- Civil: A/C \times Aditivo → Max resistencia (Factorial+RSM Minitab).
- Industrial: Distribución personal → Min costo (Simplex).
- Mecánica: Velocidad \times Profundidad → Min rugosidad (GA)

MATLAB/Python).

- Sistemas: Hilos \times Buffer \rightarrow Min tiempo respuesta (PSO).

✓ **Cierra ciclo:** DOE (Cap. 12) entender relaciones \rightarrow Optimización (Cap. 13) encontrar óptimos.

☛ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te guiarán en la formulación y resolución de un problema de optimización completo. Aplicarás modelos matemáticos, seleccionarás métodos apropiados y usarás software para encontrar soluciones óptimas a tu problema ingenieril.

Ejercicio 1: Identificación del problema de optimización: Define tu problema de optimización: (a) Descripción del problema: ¿Qué sistema, proceso o diseño quieres optimizar? (tratamiento de agua, mezcla de materiales, distribución de recursos, parámetros de proceso, diseño estructural, etc.). (b) ¿Qué quieres optimizar? ¿Maximizar (eficiencia, producción, resistencia, calidad) o minimizar (costo, tiempo, consumo energético, emisiones, rugosidad)? (c) Justificación: ¿Por qué es importante optimizar esto? ¿Cuál es el problema actual o la oportunidad de mejora? (d) Tipo de optimización: según tus variables, ¿Es continua, discreta, multiobjetivo, o bajo incertidumbre? Justifica (5-7 líneas).

Ejercicio 2: Identificación de variables de decisión: Define tus variables de decisión: (a) Lista todas las variables que puedes controlar y que afectan tu objetivo (temperatura, tiempo, concentración, caudal, velocidad, proporción de mezcla, cantidad de personal, etc.). (b) Para cada variable, especifica: nombre, símbolo (x_1 , x_2 , ...), unidades, rango físicamente posible o técnicamente factible. (c) Priorización: si tienes muchas variables, selecciona las 2-4 más importantes (mayor impacto en objetivo). (d) Tipo: ¿son continuas (pueden tomar cualquier valor real) o discretas (solo valores específicos)? Presenta en tabla: Variable | Símbolo | Unidades | Rango | Tipo.

Ejercicio 3: Formulación de la función objetivo: Expresa matemáticamente qué quieres optimizar: (a) Si tienes datos experimentales o históricos: realiza regresión (lineal, cuadrática, exponencial) para obtener ecuación que relacione tus variables con la respuesta. Reporta ecuación y R^2 . (b) Si tienes modelo teórico: escribe ecuación basada en principios físicos, químicos o ingenieriles (transferencia de calor, cinética, balance de masa, etc.). (c) Si es problema de costos: identifica costo unitario de cada variable (C_1, C_2, \dots) y escribe $f(x) = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots$ (d) Forma final: escribe claramente "Maximizar $f(x) = \dots$ " o "Minimizar $f(x) = \dots$ " con todas las variables definidas. (e) ¿Tu función es lineal, cuadrática, o más compleja?

Ejercicio 4: Identificación y formulación de restricciones: Lista todas las restricciones del problema: (a) Restricciones físicas: límites que no se pueden violar (temperatura máxima del equipo, presión máxima de operación, velocidad mínima/máxima, etc.). Escribe como desigualdades: $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$. (b) Restricciones de balance: conservación de masa, energía, momentum (entrada = salida + acumulación). Escribe ecuaciones. (c) Restricciones normativas: límites legales (concentración máxima permitida de contaminante, nivel máximo de ruido, etc.). (d) Restricciones de recursos: presupuesto disponible, tiempo máximo, personal disponible. (e) ¿Cuántas restricciones tienes en total? Lista todas como ecuaciones o desigualdades (8-10 líneas).

Ejercicio 5: Definición de la región factible: Analiza tu región factible: (a) Si tienes 2 variables: dibuja gráficamente la región factible en plano x_1 - x_2 marcando cada restricción como línea. La región factible es la intersección de todas. ¿Es acotada o no acotada? (b) Si tienes 3+ variables: no puedes dibujar, pero describe: ¿la región factible está bien definida? ¿Todas las restricciones son consistentes (no hay contradicciones)? (c) Factibilidad: ¿existe al menos una solución que cumpla todas las restricciones simultáneamente? Si no, el problema es infactible - ¿qué restricción relajarías? (d) Identifica si alguna restricción es redundante (no afecta la región factible). Documenta tu análisis.

Ejercicio 6: Selección del método de optimización: Decide qué método usarás según características del problema: (a) Si función y restricciones son lineales: usa programación lineal (método Simplex en Excel Solver o Python PuLP). (b) Si función es no lineal pero diferenciable y pocas variables: usa métodos de gradiente (fmincon en MATLAB, minimize en Python SciPy). (c) Si tienes múltiples objetivos en conflicto: usa métodos multiobjetivo (NSGA-II, DEAP en Python). (d) Si problema es complejo, muchas variables, multimodal: usa Metaheurístico (GA, PSO en MATLAB/Python). (e) Si tienes datos experimentales: usa superficie de respuesta (RSM en Minitab, construir modelo cuadrático). Justifica tu selección (4-5 líneas).

Ejercicio 7: Selección de software: Elige herramienta computacional apropiada: (a) Si problema es pequeño (<50 variables) y lineal: Excel Solver es adecuado. Describe cómo configurarás (celda objetivo, celdas variables, restricciones). (b) Si problema requiere programación o automatización: Python (especifica biblioteca: SciPy.optimize, PuLP, Pyomo, DEAP). Escribe pseudocódigo básico de estructura. (c) Si usas MATLAB: especifica función (fmincon, ga, particleswarm) y cómo definirás función objetivo y restricciones. (d) Si es RSM experimental: Minitab con DOE previo. (e) Si es optimización Estructural/cfd: ANSYS/COMSOL. Justifica tu elección de software considerando: disponibilidad, tu experiencia, complejidad del problema, necesidad de automatización.

Ejercicio 8: Implementación y resolución: Resuelve tu problema de optimización: (a) Configuración: implementa tu modelo en el software seleccionado (define variables, función objetivo, restricciones). Si usas Excel, describe configuración de Solver. Si usas Python/MATLAB, escribe código completo. (b) Parámetros: especificas tolerancia de convergencia, número máximo de iteraciones, punto inicial (si método requiere). (c) Ejecución: ejecuta optimización y documenta: ¿convergió? ¿Cuántas iteraciones tomó? ¿Encontró solución factible? (d) Solución óptima: reporta valores óptimos de todas las variables (x_1^* , x_2^* , ...) con unidades.

(e) Valor óptimo: reporta valor óptimo de función objetivo $f(x^*)$. (f) ¿Alguna restricción está activa (en su límite)? ¿Cuáles?

Ejercicio 9: Validación y sensibilidad: Valida tu solución óptima: (a) Factibilidad: verifica que solución óptima cumple todas las restricciones. Evalúa cada restricción con los valores óptimos encontrados. (b) Óptimo local vs global: si usaste método local (gradiente), ¿Cómo verificas que no es solo óptimo local? ¿Probaste diferentes puntos iniciales? Si usaste metaheurístico, ¿Ejecutaste varias veces con diferentes semillas? (c) Sensibilidad: ¿Qué pasa si cambias ligeramente una variable? ¿El objetivo cambia mucho (sensible) o poco (robusto)? (d) Análisis de sombra: si una restricción se relaja (aumenta límite), ¿Cuánto mejora el objetivo? (precio sombra). (e) Factibilidad práctica: ¿La solución óptima es implementable en la práctica? ¿Hay consideraciones no modeladas?

Ejercicio 10: Interpretación y recomendaciones: Interpreta resultados y genera recomendaciones: (a) Comparación: compara solución óptima con condiciones actuales de operación. ¿Cuánto mejora? (% de reducción de costo, % de aumento de eficiencia, etc.). (b) Trade-offs: si es multiobjetivo, ¿qué compromiso elegiste? ¿Por qué? (c) Impacto práctico: traduce resultados matemáticos a recomendaciones operativas concretas. Ejemplo: "Operar reactor a 35°C por 45 minutos reduce costo 23% manteniendo calidad". (d) Limitaciones: ¿Qué limitaciones tiene tu modelo? ¿Qué factores no consideraste? ¿Cómo afecta esto la validez? (e) Siguiendo pasos: ¿Validación experimental de condiciones óptimas? ¿Implementación piloto? ¿Refinamiento del modelo? (f) Escribe párrafo final de conclusión y recomendaciones (6-8 líneas).

→ Siguiente paso

¡Excelente trabajo! Has formulado un problema de optimización completo con variables de decisión, función objetivo y restricciones. Has seleccionado métodos y software apropiados, encontrado solución óptima, y generado recomendaciones prácticas. Dominas ahora tanto el diseño experimental (encontrar relaciones) como la optimización matemática (encontrar condiciones óptimas). El siguiente paso es aprender a modelar y simular sistemas complejos para predecir su comportamiento sin necesidad de experimentación física.

En el Capítulo 14 - "Modelamiento y Simulación", aprenderás que modelar es el proceso mediante el cual se representa un fenómeno real mediante una estructura simplificada que permite comprenderlo, analizarlo o predecir su comportamiento. Un modelo es abstracción que conserva características esenciales del sistema real, eliminando detalles irrelevantes según Chong y Zak (2013).

Conocerás qué es modelar y por qué es fundamental en ingeniería para cinco propósitos: explicar fenómenos complejos, predecir resultados, optimizar procesos, tomar decisiones basadas en evidencia, reducir costos y riesgos experimentales según Ogata (2010). Los modelos pueden ser conceptuales, matemáticos o computacionales dependiendo del grado de formalización.

Aprenderás los tres tipos de modelos: (1) Físicos - representaciones tangibles a escala o prototipos (maquetas de túneles, modelos hidrológicos en canales, prototipos estructurales) para pruebas experimentales. (2) Matemáticos - ecuaciones que describen comportamiento (diferenciales, algebraicas, estadísticas, estocásticas) como transferencia de calor con ecuación de Fourier. (3) Computacionales - implementaciones en software (ANSYS elementos finitos, HEC-RAS hidráulica, Aspen Plus procesos químicos, AERMOD dispersión contaminantes) permitiendo experimentos virtuales sin costo adicional.

Dominarás cómo validar un modelo según tres dimensiones de Sargent (2013): validación conceptual (supuestos lógicamente consistentes), validación operacional (resultados razonables en diferentes escenarios), validación estadística (comparación cuantitativa con datos reales usando MAPE, RMSE, R^2). Un modelo adecuadamente validado aumenta confiabilidad para uso técnico y científico.

Conocerás simulación en Software Especializado por rama de ingeniería con herramientas específicas para cada área, permitiendo evaluar escenarios difíciles o peligrosos de replicar en condiciones reales.

Prepárate para convertirte en ingeniero modelador, capaz de representar sistemas complejos matemáticamente y simularlos computacionalmente, prediciendo comportamiento y evaluando escenarios antes de implementación física, ahorrando tiempo, dinero y reduciendo riesgos.



¡Felicitaciones por completar el Capítulo 13!
Has dominado la optimización y puedes encontrar soluciones óptimas matemáticamente.
Ahora es momento de aprender modelamiento y simulación de sistemas complejos.

Capítulo 14

**Modelamiento
y simulación**

Modelamiento y simulación

14.1. ¿Qué es modelar?

Modelar es el proceso mediante el cual se representa un fenómeno real mediante una estructura simplificada que permite comprenderlo, analizarlo o predecir su comportamiento. Un modelo es, en esencia, una abstracción que conserva las características esenciales del sistema real, eliminando detalles irrelevantes para el propósito del estudio (Chong y Zak, 2013).

En ingeniería, modelar es fundamental para anticipar el desempeño de máquinas, procesos, estructuras, sistemas físicos, químicos, térmicos, ambientales o computacionales. El modelamiento permite:

- Explicar fenómenos complejos.
- Predecir resultados.
- Optimizar procesos.
- Tomar decisiones basadas en evidencia.
- Reducir costos y riesgos experimentales (Ogata, 2010).

Los modelos pueden ser conceptuales, matemáticos o computacionales dependiendo del grado de formalización y del tipo de análisis requerido.

14.2. Tipos de modelos (físicos, matemáticos, computacionales)

Los modelos empleados en ingeniería pueden clasificarse de la siguiente forma:

a) Modelos físicos

Son representaciones tangibles a escala o prototipos utilizados para estudiar fenómenos reales.

Ejemplos:

- Maquetas de túneles para estudios de ventilación.
- Modelos hidrológicos en canales artificiales.
- Prototipos estructurales sometidos a cargas.

Uso típico:

Pruebas experimentales de aerodinámica, hidráulica, mecánica estructural o acústica.

b) Modelos matemáticos

Son representaciones basadas en ecuaciones que describen el comportamiento del sistema. Pueden incluir:

- Ecuaciones diferenciales.
- Funciones algebraicas.
- Modelos estadísticos.
- Modelos estocásticos o determinísticos.

Ejemplo:

Modelo de transferencia de calor basado en la ecuación de Fourier.

Se utilizan ampliamente en termodinámica, cinética química, dinámica de fluidos, ingeniería ambiental, mecánica de materiales, etc.

c) Modelos computacionales

Son implementaciones del modelo matemático en software especializado que permiten simular escenarios complejos.

Ejemplos:

- Simulación por elementos finitos (ANSYS).
- Modelación hidráulica (HEC-RAS).
- Simulación de procesos químicos (Aspen Plus).
- Modelos de dispersión de contaminantes (AERMOD).

Son útiles para repetir experimentos virtuales innumerables veces sin costo adicional, permitiendo evaluar escenarios difíciles o peligrosos de replicar en condiciones reales.

14.3. Cómo validar un modelo

La validación es el proceso que determina si el modelo representa adecuadamente el sistema real. Según Sargent (2013), toda validación debe considerar tres dimensiones:

a) Validación conceptual

Consiste en verificar que los supuestos y abstracciones del modelo son lógicamente consistentes con el fenómeno real.

b) Validación operacional

Evalúa si el modelo produce resultados razonables bajo diferentes escenarios.

c) Validación estadística

Compara cuantitativamente los resultados del modelo con datos reales usando indicadores como:

- Error porcentual absoluto medio (MAPE).
- Raíz del error cuadrático medio (RMSE).
- Coeficiente de determinación (R^2).

Un modelo adecuadamente validado aumenta la confiabilidad para su uso técnico y científico.

14.4. Simulación en software especializado

La simulación computacional utiliza algoritmos numéricos para reproducir el comportamiento del modelo matemático. En ingeniería, los softwares más utilizados incluyen:

a) Ingeniería mecánica y estructural

- **ANSYS, Abaqus, SolidWorks Simulation**
Simulaciones de esfuerzos, vibraciones, fatiga, transferencia térmica.

b) Ingeniería química y de procesos

- **Aspen Plus, HYSYS, COMSOL Multiphysics**
Modelamiento de procesos reactor–destilación, intercambiadores de calor, cinética y diseño de plantas químicas.

c) Ingeniería civil – hidráulica

- **HEC-RAS, SWMM, EPANET**
Simulación de flujos, redes de abastecimiento, inundaciones y drenaje urbano.

d) Ingeniería ambiental

- **AERMOD, CALPUFF, WASP, Qual2K**

Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos, calidad de agua y predicción de impactos ambientales.

e) Ingeniería eléctrica y de control

- **MATLAB/Simulink, PSS/E, ETAP**

Sistemas dinámicos, redes eléctricas y control automático.

La simulación permite realizar análisis de sensibilidad, escenarios “qué pasaría si...”, optimización y pruebas virtuales sin poner en riesgo recursos o infraestructura.

14.5. Caso práctico

Problema

Una empresa necesita predecir la concentración de contaminantes atmosféricos generados por una planta industrial ubicada cerca de una zona urbana.

Paso 1. Selección del modelo

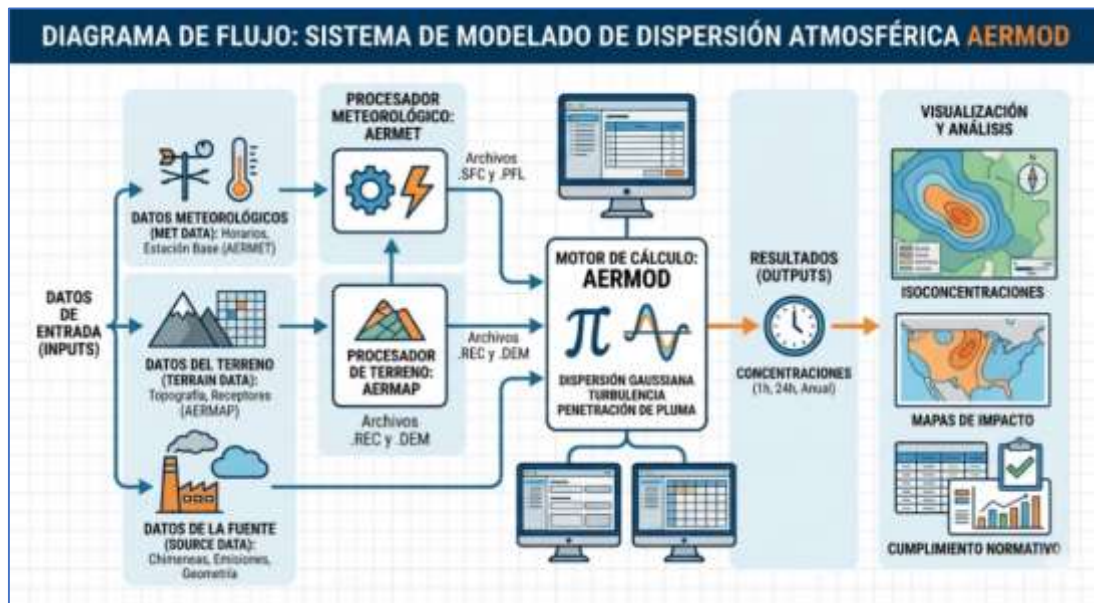
Se elige un modelo matemático de dispersión basado en ecuaciones de difusión atmosférica (modelo Gaussiano) (Turner, 1994).

Paso 2. Implementación computacional

Se usa **AERMOD**, herramienta oficial de la EPA para modelar dispersión en la atmósfera.

Figura 13

Diagrama del sistema de modelado de dispersión atmosférica.



Datos ingresados:

- Velocidad del viento.
- Altura de la chimenea.
- Emisión en g/s.
- Estabilidad atmosférica.
- Rugosidad del terreno.

Paso 3. Validación

Se comparan los valores simulados con mediciones obtenidas mediante equipo de monitoreo de calidad de aire.

Se obtiene:

- $R^2 = 0.89$.
- $RMSE = 2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- $MAPE = 8\%$.

Estos valores están dentro de los rangos aceptados para simulación atmosférica, lo que indica un modelo válido.

Paso 4. Interpretación

El modelo predice que la concentración máxima ocurre a 350 m de la fuente. Se recomienda ajustar el proceso y aumentar la altura de chimenea para disminuir el impacto.

Modelamiento y simulación

■ Resumen del capítulo

Este capítulo presentó el modelamiento y simulación como herramientas fundamentales en ingeniería. Se explicó **qué es modelar**: proceso mediante el cual se representa fenómeno real mediante estructura simplificada que permite comprenderlo, analizarlo o predecir su comportamiento. Un modelo es abstracción que conserva características esenciales del sistema real, eliminando detalles irrelevantes para el propósito del estudio según Chong y Zak (2013). Se estableció que, en ingeniería, modelar es fundamental para anticipar desempeño de máquinas, procesos, estructuras, sistemas físicos, químicos, térmicos, ambientales o computacionales, con cinco propósitos: explicar fenómenos complejos, predecir resultados, optimizar procesos, tomar decisiones basadas en evidencia, reducir costos y riesgos experimentales según Ogata (2010). Los modelos pueden ser conceptuales, matemáticos o computacionales dependiendo del grado de formalización y tipo de análisis requerido. Se presentaron los **Tipos de modelos** clasificados en tres categorías: (a) **Modelos físicos** como representaciones tangibles a escala o prototipos utilizados para estudiar fenómenos reales (maquetas de túneles para ventilación, modelos hidrológicos en canales artificiales, prototipos estructurales sometidos a cargas) usados en pruebas experimentales de aerodinámica, hidráulica, mecánica estructural o acústica; (b) **Modelos matemáticos** como representaciones basadas en ecuaciones que describen comportamiento del sistema (ecuaciones diferenciales, funciones algebraicas, modelos estadísticos, modelos estocásticos o determinísticos) como modelo de transferencia de calor basado en ecuación de Fourier, utilizados ampliamente en termodinámica, cinética química, dinámica de fluidos, ingeniería ambiental, mecánica de materiales; (c) **Modelos computacionales** como implementaciones del modelo matemático en software especializado que permiten simular escenarios complejos

(ANSYS para elementos finitos, HEC-RAS para hidráulica, Aspen Plus para procesos químicos, AERMOD para dispersión de contaminantes) útiles para repetir experimentos virtuales innumerables veces sin costo adicional, permitiendo evaluar escenarios difíciles o peligrosos de replicar en condiciones reales. Se explicó **cómo validar un modelo** como proceso que determina si modelo representa adecuadamente el sistema real, según Sargent (2013) toda validación debe considerar tres dimensiones: (a) validación conceptual verificando que supuestos y abstracciones del modelo son lógicamente consistentes con fenómeno real; (b) validación operacional evaluando si modelo produce resultados razonables bajo diferentes escenarios; (c) validación estadística comparando cuantitativamente resultados del modelo con datos reales usando indicadores como MAPE (error porcentual absoluto medio), RMSE (raíz del error cuadrático medio), R^2 (coeficiente de determinación), destacando que modelo adecuadamente validado aumenta confiabilidad para uso técnico y científico. Se presentó **Simulación en Software Especializado** que utiliza algoritmos numéricos para reproducir comportamiento del modelo matemático, con software más utilizados por rama: (a) ingeniería mecánica y estructural (ANSYS, Abaqus, SolidWorks Simulation para esfuerzos, vibraciones, fatiga, transferencia térmica); (b) ingeniería química y de procesos (Aspen Plus, HYSYS, COMSOL Multiphysics para modelamiento de procesos reactor-distilación, intercambiadores, cinética, diseño de plantas); (c) ingeniería civil-hidráulica (HEC-RAS, SWMM, EPANET para flujos, redes de abastecimiento, inundaciones, drenaje urbano); (d) ingeniería ambiental (AERMOD, CALPUFF, WASP, Qual2K para dispersión de contaminantes atmosféricos, calidad de agua, predicción de impactos); (e) ingeniería eléctrica y de control (MATLAB/Simulink, PSS/E, ETAP para sistemas dinámicos, redes eléctricas, control automático), destacando que simulación permite realizar análisis de sensibilidad, escenarios "qué pasaría si", optimización y pruebas virtuales sin poner en riesgo recursos o infraestructura. Finalmente, se proporcionó **caso práctico** completo: empresa necesita predecir concentración de contaminantes atmosféricos de planta industrial cerca de zona urbana, con cuatro pasos: (1) selección del modelo (modelo matemático de dispersión basado en ecuaciones de difusión atmosférica, modelo Gaussiano según Turner 1994); (2) implementación computacional (AERMOD herramienta oficial EPA con datos: velocidad del viento, altura de chimenea, emisión en g/s, estabilidad atmosférica, rugosidad del terreno); (3) validación (comparación valores simulados con mediciones de equipo de monitoreo obteniendo $R^2=0.89$, $RMSE=2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $MAPE=8\%$ dentro de rangos aceptados para simulación atmosférica indicando modelo válido); (4) interpretación (modelo predice concentración máxima ocurre a 350 m de la fuente, recomendando ajustar proceso y aumentar altura de chimenea para disminuir impacto).

🔑 Conceptos clave

- **Modelar:** Proceso mediante el cual se representa un fenómeno real mediante una estructura simplificada que permite comprenderlo, analizarlo o predecir su comportamiento. Fundamental en ingeniería para anticipar desempeño de sistemas sin necesidad de construirlos físicamente primero.
- **Modelo:** Abstracción que conserva las características esenciales del sistema real, eliminando detalles irrelevantes para el propósito del estudio según Chong y Zak (2013). Puede ser físico, matemático o computacional dependiendo del nivel de formalización y análisis requerido.
- **Modelos físicos:** Representaciones tangibles a escala o prototipos utilizados para estudiar fenómenos reales mediante pruebas experimentales. Ejemplos: maquetas de túneles para estudios de ventilación, modelos hidrológicos en canales artificiales, prototipos estructurales sometidos a cargas. Usados en aerodinámica, hidráulica, mecánica estructural y acústica.
- **Modelos matemáticos:** Representaciones basadas en ecuaciones que describen el comportamiento del sistema. Pueden incluir ecuaciones diferenciales (cambio continuo), funciones algebraicas (relaciones directas), modelos estadísticos (análisis de datos), modelos estocásticos (con aleatoriedad) o determinísticos (sin aleatoriedad). Ejemplo: modelo de transferencia de calor basado en ecuación de Fourier.
- **Modelos computacionales:** Implementaciones del modelo matemático en software especializado que permiten simular escenarios complejos mediante algoritmos numéricos. Ejemplos: ANSYS para simulación por elementos finitos, HEC-RAS para modelación hidráulica, Aspen Plus para simulación de procesos químicos, AERMOD para dispersión de contaminantes. Útiles para repetir experimentos virtuales innumerables veces sin costo adicional.
- **Validación de modelo:** Proceso que determina si el modelo representa adecuadamente el sistema real, verificando que predicciones del modelo coincidan suficientemente con comportamiento observado del sistema. Un modelo adecuadamente validado aumenta confiabilidad para uso técnico y científico en toma de decisiones.
- **Validación conceptual:** Primera dimensión de validación según Sargent (2013) que consiste en verificar que los supuestos y abstracciones del modelo son lógicamente consistentes con el fenómeno real. Evalúa si las simplificaciones hechas son razonables y si los principios físicos, químicos o ingenieriles aplicados son correctos.
- **Validación operacional:** Segunda dimensión de validación según Sargent (2013) que evalúa si el modelo produce resultados razonables bajo diferentes escenarios de operación. Verifica comportamiento del modelo en condiciones extremas, valores límite y situaciones diversas para asegurar robustez.
- **Validación estadística:** Tercera dimensión de validación según Sargent (2013) que compara cuantitativamente los resultados del modelo con datos reales del sistema usando indicadores numéricos. Proporciona medidas objetivas de qué tan bien el modelo representa la realidad mediante métricas estadísticas.

- **MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio):** Indicador de validación estadística que mide el error promedio del modelo expresado como porcentaje. $MAPE = (1/n)\sum|\text{valor_real} - \text{valor_predicho}|/|\text{valor_real}| \times 100\%$. Valores menores indican mejor ajuste. Típicamente $MAPE < 10\%$ se considera excelente, 10-20% bueno, 20-50% aceptable.
- **RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio):** Indicador de validación estadística que mide la desviación típica de los errores de predicción del modelo. $RMSE = \sqrt{[(1/n)\sum(\text{valor_real} - \text{valor_predicho})^2]}$. Está en las mismas unidades que la variable modelada. Valores menores indican mejor ajuste. Penaliza más los errores grandes que MAPE.
- **R² (Coeficiente de Determinación):** Indicador de validación estadística que mide proporción de variabilidad de datos reales explicada por el modelo. R² varía de 0 a 1, donde R²=1 indica ajuste perfecto y R²=0 indica que modelo no explica variabilidad. Típicamente $R^2 > 0.7$ se considera aceptable, $R^2 > 0.85$ bueno, $R^2 > 0.95$ excelente.
- **Simulación computacional:** Uso de algoritmos numéricos en computadora para reproducir el comportamiento del modelo matemático a lo largo del tiempo o bajo diferentes condiciones. Permite realizar experimentos virtuales evaluando "qué pasaría si" sin necesidad de construir o modificar sistema físico real.
- **ANSYS:** Software de simulación por elementos finitos usado en ingeniería mecánica y estructural para analizar esfuerzos, deformaciones, vibraciones, fatiga y transferencia térmica en componentes y estructuras. Permite optimización de diseños antes de fabricación física.
- **HEC-RAS:** Software de modelación hidráulica usado en ingeniería civil para simulación de flujos en canales abiertos, ríos, redes de abastecimiento de agua, análisis de inundaciones y drenaje urbano. Desarrollado por US Army Corps of Engineers.
- **Aspen Plus:** Software de simulación de procesos químicos usado en ingeniería química para modelamiento de reactores, columnas de destilación, intercambiadores de calor, cinética de reacciones y diseño completo de plantas químicas industriales.
- **AERMOD:** Software de modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos desarrollado por EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos. Usa modelo Gaussiano de penacho para predecir concentraciones de contaminantes en diferentes puntos considerando meteorología, topografía y características de emisión.
- **MATLAB/Simulink:** Software técnico usado en ingeniería eléctrica y de control para modelamiento de sistemas dinámicos, diseño de controladores, simulación de redes eléctricas y análisis de control automático. Simulink permite modelamiento gráfico mediante diagramas de bloques.
- **Análisis de sensibilidad:** Estudio de cómo cambios en parámetros de entrada del modelo afectan los resultados de salida. Identifica qué variables tienen mayor influencia en el comportamiento del sistema, permitiendo priorizar esfuerzos de medición precisa y control de variables críticas.

- **Escenarios "qué pasaría si":** Simulaciones de situaciones hipotéticas para evaluar comportamiento del sistema bajo condiciones diferentes a las normales. Ejemplos: ¿Qué pasaría si velocidad del viento aumenta 50%?, ¿Qué pasaría si caudal disminuye?, ¿Qué pasaría si se duplica la carga? Permite planificación y preparación ante contingencias.
- **Modelo Gaussiano de dispersión:** Modelo matemático usado en ingeniería ambiental basado en ecuaciones de difusión atmosférica que describe cómo se dispersan contaminantes desde una fuente puntual (como chimenea) en la atmósfera. Considera velocidad del viento, estabilidad atmosférica, altura de emisión y rugosidad del terreno según Turner (1994).
- **Experimentos virtuales:** Simulaciones computacionales que reproducen experimentos que serían costosos, peligrosos, lentos o imposibles de realizar físicamente. Permiten explorar amplio rango de condiciones, probar diseños múltiples, y optimizar sistemas antes de construcción o implementación física, reduciendo significativamente costos y tiempos de desarrollo.

💡 Ideas principales

1. Modelar es proceso fundamental en ingeniería que representa fenómeno real mediante estructura simplificada permitiendo comprenderlo, analizarlo o predecir su comportamiento. Un modelo es abstracción que conserva características esenciales del sistema real, eliminando detalles irrelevantes para propósito del estudio según Chong y Zak (2013). La clave está en balance: suficientemente simple para ser manejable, suficientemente completo para ser útil.
2. En ingeniería, modelar es fundamental para anticipar desempeño de máquinas, procesos, estructuras, sistemas físicos, químicos, térmicos, ambientales o computacionales antes de construirlos o modificarlos físicamente. Esto representa ahorro significativo de tiempo, dinero y reducción de riesgos comparado con enfoque de prueba-error en sistemas reales.
3. El modelamiento permite cinco propósitos fundamentales según Ogata (2010): (1) Explicar fenómenos complejos de manera comprensible (convertir complejidad en claridad). (2) Predecir resultados bajo condiciones no probadas (anticipar futuro). (3) Optimizar procesos encontrando mejores condiciones de operación (maximizar desempeño). (4) Tomar decisiones basadas en evidencia cuantitativa (reducir incertidumbre). (5) Reducir costos y riesgos experimentales evitando pruebas físicas costosas o peligrosas.
4. Los modelos pueden ser conceptuales (representación cualitativa de ideas y relaciones), matemáticos (ecuaciones cuantitativas formales), o computacionales (implementación en software), dependiendo del grado de formalización (qué tan riguroso es) y del tipo de análisis requerido (qué preguntas se quieren responder). La elección depende del propósito y recursos disponibles.
5. Los modelos físicos son representaciones tangibles a escala o prototipos utilizados para estudiar fenómenos reales mediante pruebas experimentales

directas. Ejemplos: maquetas de túneles para estudios de ventilación (flujo de aire), modelos hidrológicos en canales artificiales (flujo de agua), prototipos estructurales sometidos a cargas (resistencia mecánica). Uso típico en aerodinámica, hidráulica, mecánica estructural y acústica. Ventaja: realismo físico. Limitación: costosos y específicos para cada configuración.

6. Los modelos matemáticos son representaciones basadas en ecuaciones que describen comportamiento del sistema de manera cuantitativa formal. Pueden incluir cuatro tipos: (1) Ecuaciones diferenciales para cambios continuos en tiempo/espacio. (2) Funciones algebraicas para relaciones directas entre variables. (3) Modelos estadísticos para análisis de datos con variabilidad. (4) Modelos estocásticos (con componentes aleatorios) o determinísticos (sin aleatoriedad). Ejemplo clásico: modelo de transferencia de calor basado en ecuación de Fourier. Utilizados ampliamente en termodinámica, cinética química, dinámica de fluidos, ingeniería ambiental, mecánica de materiales.
7. Los modelos computacionales son implementaciones del modelo matemático en software especializado que permiten simular escenarios complejos mediante algoritmos numéricos. Ejemplos por aplicación: ANSYS para simulación por elementos finitos (estructuras, térmico), HEC-RAS para modelación hidráulica (ríos, canales), Aspen Plus para simulación de procesos químicos (reactores, destilación), AERMOD para dispersión de contaminantes atmosféricos (calidad del aire). Ventaja crítica: permiten repetir experimentos virtuales innumerables veces sin costo adicional, evaluando escenarios difíciles o peligrosos de replicar en condiciones reales.
8. La validación es proceso crítico que determina si el modelo representa adecuadamente el sistema real. Sin validación, el modelo es solo especulación matemática sin base en realidad. Según Sargent (2013), toda validación debe considerar tres dimensiones complementarias que juntas proporcionan confianza en el modelo: conceptual (lógica), operacional (comportamiento razonable), y estadística (ajuste cuantitativo a datos).
9. La validación conceptual verifica que supuestos y abstracciones del modelo son lógicamente consistentes con fenómeno real. Preguntas clave: ¿Los principios físicos, químicos o ingenieriles aplicados son correctos? ¿Las simplificaciones hechas son razonables? ¿Las relaciones causa-efecto modeladas tienen sentido científico? ¿Los límites del modelo (qué incluye, qué excluye) están bien definidos? Esta validación es cualitativa pero fundamental - modelo conceptualmente incorrecto nunca será útil sin importar qué tan bien ajuste datos.
10. La validación operacional evalúa si modelo produce resultados razonables bajo diferentes escenarios de operación. Prueba comportamiento del modelo en condiciones extremas (valores límite), situaciones diversas (múltiples casos), y verifica robustez (estabilidad de resultados). Preguntas: ¿El modelo responde coherentemente a cambios en entradas? ¿Los resultados en extremos son físicamente posibles? ¿El modelo es robusto o colapsa con pequeños cambios? Esta validación es semi-cuantitativa: verifica sensatez de comportamiento.
11. La validación estadística compara cuantitativamente resultados del modelo con datos reales del sistema usando tres indicadores principales: (1) MAPE (error

porcentual absoluto medio) - error promedio como porcentaje, típicamente MAPE<10% excelente, 10-20% bueno, 20-50% aceptable. (2) RMSE (raíz del error cuadrático medio) - desviación típica de errores en mismas unidades que variable, penaliza más errores grandes. (3) R^2 (coeficiente de determinación) - proporción de variabilidad explicada, típicamente $R^2>0.7$ aceptable, $R^2>0.85$ bueno, $R^2>0.95$ excelente. Esta validación es completamente cuantitativa: proporciona medidas objetivas de ajuste.

12. Un modelo adecuadamente validado (que pasa las tres dimensiones: conceptual, operacional, estadística) aumenta significativamente la confiabilidad para su uso técnico y científico. Permite usar el modelo con confianza para: predecir comportamiento futuro, optimizar condiciones de operación, evaluar escenarios alternativos, tomar decisiones importantes basadas en simulaciones, y extrapolar a condiciones no probadas experimentalmente dentro de límites razonables.
13. La simulación computacional utiliza algoritmos numéricos para reproducir comportamiento del modelo matemático iterando ecuaciones en computadora. En ingeniería, software más utilizados se especializan por rama: Mecánica y Estructural (ANSYS, Abaqus, SolidWorks Simulation) para esfuerzos, vibraciones, fatiga, transferencia térmica permitiendo optimización de diseños antes de fabricación.
14. En Química y Procesos se usan Aspen Plus, HYSYS, COMSOL Multiphysics para modelamiento completo de plantas: reactores (cinética de reacciones, conversión), destilación (separación de componentes), intercambiadores de calor (transferencia de energía), diseño de plantas químicas completas con balances de masa y energía integrados. Permiten optimización de condiciones de operación sin experimentación física costosa.
15. En Civil-Hidráulica se emplean HEC-RAS (modelación de flujos en ríos y canales), SWMM (drenaje urbano y alcantarillado), EPANET (redes de abastecimiento de agua potable) para simulación de flujos, análisis de inundaciones (mapas de riesgo), diseño de redes de distribución, y evaluación de drenaje urbano ante diferentes escenarios de lluvia.
16. En Ambiental se utilizan AERMOD, CALPUFF (dispersión atmosférica de contaminantes), WASP, Qual2K (calidad de agua superficial) para modelación de dispersión de contaminantes gaseosos, predicción de impactos ambientales de proyectos, evaluación de cumplimiento normativo, y diseño de estrategias de mitigación. Fundamentales en estudios de impacto ambiental.
17. En Eléctrica y Control se usan MATLAB/Simulink (sistemas dinámicos, diseño de controladores), PSS/E (redes eléctricas de transmisión), ETAP (sistemas de potencia) para modelamiento de sistemas de control automático, simulación de respuesta de redes eléctricas ante fallas, y diseño de esquemas de protección y control.
18. La simulación permite cuatro capacidades poderosas: (1) Análisis de sensibilidad - identificar variables más influyentes en comportamiento del sistema; (2) Escenarios "Qué Pasaría Si" - evaluar situaciones hipotéticas y contingencias; (3) Optimización - encontrar mejores condiciones de operación

- automáticamente; (4) Pruebas virtuales - evaluar diseños múltiples sin construir prototipos físicos. Todo esto sin poner en riesgo recursos o infraestructura real.
19. El caso práctico ilustra proceso completo: empresa necesita predecir concentración de contaminantes atmosféricos de planta industrial cerca de zona urbana. Paso 1: Selección del modelo (modelo Gaussiano de dispersión atmosférica según Turner 1994, ecuaciones de difusión). Paso 2: Implementación en AERMOD (herramienta oficial EPA) con datos: velocidad viento, altura chimenea, emisión g/s, estabilidad atmosférica, rugosidad terrena. Paso 3: Validación comparando simulado vs medido obteniendo $R^2=0.89$, $RMSE=2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $MAPE=8\%$ - valores dentro de rangos aceptados indicando modelo válido. Paso 4: Interpretación - modelo predice concentración máxima a 350 m de fuente, recomendando ajustar proceso y aumentar altura de chimenea para disminuir impacto en zona urbana. Este caso muestra cómo modelamiento + simulación + validación = herramienta práctica para toma de decisiones ingenieriles.

⚡ Para recordar

- ✓ **Modelar** = Representar fenómeno real mediante estructura simplificada.
- ✓ **Modelo** = Abstracción conservando características esenciales (Chong y Zak 2013).
- ✓ **Balance clave:** Simple (manejable) + Completo (útil).
- ✓ **5 Propósitos** (Ogata 2010):
 - (1) Explicar fenómenos complejos.
 - (2) Predecir resultados (anticipar futuro).
 - (3) Optimizar procesos (maximizar desempeño).
 - (4) Tomar decisiones (evidencia cuantitativa).
 - (5) Reducir costos y riesgos experimentales.
- ✓ **3 Tipos de modelos:**
 - (1) Físicos
 - Tangibles, escala, prototipos.
 - Ejemplos: Maquetas túneles | Canales hidráulicos | Prototipos estructurales.
 - Uso: Aerodinámica, Hidráulica, Mecánica, Acústica.
 - Ventaja: Realismo físico.
 - Limitación: Costosos, específicos.
 - (2) Matemáticos
 - Ecuaciones describiendo comportamiento.
 - 4 tipos: Diferenciales | Algebraicas | Estadísticas | Estocásticas/Determinísticas.
 - Ejemplo: Transferencia calor (ecuación Fourier).
 - Uso: Termodinámica, Cinética, Fluidos, Ambiental, Materiales.

(3) Computacionales.

- Implementación matemático en software.
- Ejemplos: ANSYS (elementos finitos) | HEC-RAS (hidráulica) Aspen Plus (químicos) | AERMOD (dispersión).
- Ventaja CRÍTICA: Experimentos virtuales sin costo adicional.
- Evaluar: Difícil/Peligroso/Costoso replicar físicamente.

✓ **Validación** (Sargent 2013) - 3 Dimensiones.

(1) Conceptual (cualitativa):

- Supuestos lógicamente consistentes.
- Principios físicos/químicos correctos.
- Simplificaciones razonables.
- Si conceptualmente incorrecto → Nunca útil.

(2) Operacional (semi-cuantitativa):

- Resultados razonables en diferentes escenarios.
- Comportamiento coherente en extremos.
- Robustez (estabilidad).
- Verifica sensatez de comportamiento.

(3) Estadística (cuantitativa):

- MAPE (error % medio)
<10% excelente | 10-20% bueno | 20-50% aceptable.
- RMSE (raíz error cuadrático medio)
Mismas unidades variable | Penaliza errores grandes.
- R² (coeficiente determinación)
>0.7 aceptable | >0.85 bueno | >0.95 excelente.
- Medidas objetivas de ajuste.

✓ **Modelo adecuadamente validado** → Confiabilidad uso técnico/científico.

✓ **Software por rama:**

- Mecánica/Estructural: ANSYS, Abaqus, SolidWorks
→ Esfuerzos, Vibraciones, Fatiga, Térmico.
- Química/Procesos: Aspen Plus, HYSYS, COMSOL
→ Reactores, Destilación, Intercambiadores, Plantas.
- Civil-Hidráulica: HEC-RAS, SWMM, EPANET
→ Flujos, Inundaciones, Redes agua, Drenaje.
- Ambiental: AERMOD, CALPUFF, WASP, Qual2K
→ Dispersión atmosférica, Calidad agua, Impactos.
- Eléctrica/Control: MATLAB/Simulink, PSS/E, ETAP
→ Sistemas dinámicos, Redes eléctricas, Control.

✓ **4 Capacidades simulación:**

- (1) Análisis sensibilidad → Variables más influyentes.
- (2) Escenarios "qué pasaría si" → Contingencias.
- (3) Optimización → Mejores condiciones automáticamente.
- (4) Pruebas virtuales → Sin riesgo recursos reales.

✓ **Caso práctico: Contaminantes atmosféricos**

- Modelo: Gaussiano dispersión (Turner 1994).
- Software: AERMOD (EPA oficial).
- Validación: R²=0.89, RMSE=2.4, MAPE=8%.
- Resultado: Concentración máxima a 350 m.
- Recomendación: Aumentar altura chimenea.

✓ **Proceso:** Modelamiento + Simulación + Validación = Decisiones ingenieriles.

■ **Aplica lo aprendido**

Estos ejercicios te guiarán en el desarrollo, implementación y validación de un modelo completo para tu sistema de estudio. Aplicarás los principios de modelamiento, simularás comportamiento y validarás resultados contra datos reales.

Ejercicio 1: Identificación del sistema a modelar: Define claramente qué sistema modelarás: (a) Descripción del sistema: ¿Qué proceso, fenómeno, estructura o equipo vas a modelar? (reactor químico, estructura civil, sistema de tratamiento de agua, proceso térmico, red eléctrica, flujo de fluidos, etc.). (b) Propósito del modelo: ¿Para qué necesitas el modelo? ¿Explicar, predecir, optimizar, tomar decisiones, o reducir experimentos físicos? (c) Alcance y límites: ¿Qué incluye el modelo (sistema, subsistemas, variables)? ¿qué excluye conscientemente (aspectos secundarios)? (d) Características esenciales: lista 5-7 características esenciales que el modelo debe conservar del sistema real. (e) Simplificaciones: lista 3-5 simplificaciones razonables que harás (detalles irrelevantes a eliminar). Justifica cada una (7-9 líneas).

Ejercicio 2: Selección del tipo de modelo: Decide qué tipo de modelo desarrollarás: (a) ¿Físico, matemático o computacional? Justifica tu elección considerando: propósito del estudio, recursos disponibles, complejidad del sistema, nivel de precisión requerido. (b) Si físico: ¿Qué escala usarás? ¿Qué materiales? ¿Dónde lo construirás y probarás? (c) Si matemático: ¿Qué tipo de ecuaciones usarás? (diferenciales, algebraicas, estadísticas, estocásticas). ¿Basado en primeros principios (leyes físicas/químicas) o empírico (ajuste de datos)? (d) Si computacional: ¿Qué software usarás? (ANSYS, HEC-RAS, Aspen Plus, AERMOD, MATLAB, Python, etc.). ¿Por qué ese software es apropiado? (e) ¿Es factible con tus recursos y conocimientos? (6-8 líneas).

Ejercicio 3: Formulación matemática del modelo: Desarrolla el modelo matemático: (a) Variables de entrada (independientes): lista todas con símbolos, nombres, unidades, rangos. (b) Variables de salida (dependientes): lista todas con

símbolos, nombres, unidades. (c) Parámetros: constantes del modelo (propiedades físicas, coeficientes). (d) Ecuaciones principales: escribe las ecuaciones que relacionan variables. Si son ecuaciones de primeros principios, especifica qué ley física/química aplicas (conservación de masa, energía, momentum, Fourier, Fick, etc.). Si son empíricas, especifica forma funcional (lineal, cuadrática, exponencial, potencial). (e) Condiciones Iniciales/Frontera: si aplica, especifica condiciones. (f) Si es muy complejo, describe estructura general del modelo (8-10 líneas).

Ejercicio 4: Implementación computacional: Implementa tu modelo en software: (a) Software seleccionado: especifica herramienta (Excel, PYTHON, MATLAB, software especializado). (b) Si usas PYTHON/MATLAB: escribe código completo o pseudocódigo detallado mostrando: importación de bibliotecas, definición de parámetros, definición de funciones del modelo, método numérico de solución (si ecuaciones diferenciales: Euler, Runge-Kutta, odeint), bucles de simulación, almacenamiento de resultados. (c) Si usas software especializado (ANSYS, HEC-RAS, Aspen Plus): describe configuración paso a paso: geometría/dominio, condiciones de frontera, propiedades de materiales, malla/discretización, solver seleccionado, criterios de convergencia. (d) Verificación: ¿Probaste casos simples donde conoces respuesta? (e) Documenta problemas encontrados en implementación y cómo los resolviste.

Ejercicio 5: Simulación y generación de resultados: Ejecuta simulaciones de tu modelo: (a) Escenario base: simula condiciones normales u operativas actuales del sistema. Reporta resultados principales (valores de variables de salida). (b) Análisis de sensibilidad: varía una variable de entrada a la vez ($\pm 10\%$, $\pm 20\%$, $\pm 50\%$) y observa cómo cambia la salida. ¿Qué variable de entrada tiene mayor influencia en salida? ¿Cuál tiene menor? (c) Escenarios "Qué Pasaría Si": simula al menos 3 escenarios diferentes (condiciones extremas, fallas, mejoras propuestas). Reporta resultados de cada escenario. (d) Gráficos: genera gráficos apropiados (evolución temporal, perfiles espaciales, superficies de respuesta, gráficos de sensibilidad). (e) ¿Los resultados tienen sentido físico/ingenieril? ¿Son coherentes con expectativas?

Ejercicio 6: Recolección de datos reales para validación: Obtén datos del sistema real: (a) ¿Qué datos del sistema real necesitas para validar? (mediciones de variables de salida bajo condiciones conocidas de entrada). (b) Fuente de datos: ¿De dónde obtendrás datos? (experimentos propios, datos históricos, literatura, bases de datos públicas, industria). (c) ¿Cuántos datos tienes? ¿Son suficientes? (mínimo 10-20 puntos para validación estadística razonable). (d) Calidad de datos: ¿Los datos son confiables? ¿Instrumentos calibrados? ¿Metodología documentada? (e) Emparejamiento: para cada dato real, ¿Puedes simular exactamente las mismas condiciones de entrada en tu modelo? (f) Presenta datos en tabla: Condiciones de entrada | Salida observada (real) | Para llenar: Salida predicha (modelo).

Ejercicio 7: Validación conceptual: Valida los fundamentos de tu modelo: (a) Supuestos: lista todos los supuestos que hiciste. Para cada supuesto, evalúa: ¿Es lógicamente consistente con el fenómeno real? ¿Es razonable para el propósito del modelo? ¿Hay evidencia que lo respalde? (b) Principios físicos/químicos: ¿Las leyes o principios que aplicaste son correctos y apropiados? ¿Hay referencias que los respalden? (c) Simplificaciones: revisa las simplificaciones del Ejercicio 1. ¿Siguen siendo razonables ahora que desarrollaste el modelo? ¿Eliminaste algo importante? (d) Límites: ¿Los límites del modelo están bien definidos? ¿Queda claro para qué condiciones el modelo es válido y para cuáles no? (e) Revisión por Experto: si es posible, ¿Consultaste con un experto en el área? ¿Qué feedback recibiste? (f) Conclusión: ¿El modelo es conceptualmente sólido? (8-10 líneas).

Ejercicio 8: Validación operacional: Valida el comportamiento del modelo: (a) Condiciones extremas: simula tu modelo en valores límite de entradas. ¿Los resultados son físicamente posibles o el modelo colapsa/da valores absurdos? Ejemplos: temperatura=0K, caudal=0, presión=0, velocidad=infinito. (b) Casos conocidos: si existen soluciones analíticas o casos clásicos documentados para condiciones especiales, ¿Tu modelo los reproduce? (c) Balance: si tu modelo incluye conservación (masa, energía), ¿Se cumple? Verifica que entrada=salida+acumulación. (d) Tendencias: cuando aumentas una entrada, ¿La salida cambia en la dirección esperada? (más temperatura → más reacción, más

caudal → más presión perdida, etc.). (e) Robustez: ¿Pequeños cambios en entradas producen pequeños cambios en salidas (estable) o el modelo es muy sensible (inestable)? (f) Conclusión: ¿El modelo se comporta razonablemente? (8-10 líneas).

Ejercicio 9: Validación estadística: Valida cuantitativamente contra datos reales: (a) Para cada dato real del Ejercicio 6, simula las mismas condiciones de entrada y obtén predicción del modelo. Completa tabla: Real | Predicho | Error | Error%. (b) Calcula MAPE: $MAPE = (1/n)\sum |Real-Predicho|/|Real| \times 100\%$. Reporta valor. Interpreta: <10% excelente, 10-20% bueno, 20-50% aceptable, >50% pobre. (c) Calcula RMSE: $RMSE = \sqrt{(1/n)\sum (Real-Predicho)^2}$. Reporta valor con unidades. ¿Es pequeño o grande relativo a magnitud de variable? (d) Calcula R²: correlación entre valores reales y predichos. Reporta valor. Interpreta: >0.7 aceptable, >0.85 bueno, >0.95 excelente. (e) Genera gráfico: Real vs Predicho (scatter plot) con línea 45° (ajuste perfecto). ¿Puntos están cerca de línea? (f) Conclusión estadística: según indicadores, ¿el modelo está adecuadamente validado? (9-11 líneas).

Ejercicio 10: Interpretación, limitaciones y recomendaciones: Interpreta resultados y documenta: (a) Validez del modelo: considerando las tres validaciones (conceptual, operacional, estadística), ¿El modelo es adecuado para el propósito definido? ¿En qué rango de condiciones es válido? (b) Limitaciones: lista 4-6 limitaciones importantes de tu modelo (supuestos restrictivos, condiciones no cubiertas, incertidumbres, factores no incluidos). (c) Aplicaciones: ¿Para qué puedes usar este modelo validado? (predecir, optimizar, evaluar escenarios, diseñar, tomar decisiones específicas). (d) Mejoras Futuras: ¿Cómo podrías mejorar el modelo? (incluir más física, más datos de validación, extensiones a otras condiciones, acoplamiento con otros modelos). (e) Recomendaciones Prácticas: basándote en simulaciones, ¿Qué recomendaciones prácticas puedes hacer sobre el sistema real? (f) Conclusión Final: escribe párrafo integrando todo (6-8 líneas).

→ Siguiente paso

¡Excelente trabajo! Has desarrollado un modelo completo del sistema, lo implementaste computacionalmente, ejecutaste simulaciones, y validaste resultados contra datos reales en tres dimensiones (conceptual, operacional, estadística). Dominas ahora el ciclo completo de modelamiento y simulación. Has completado el núcleo de investigación aplicada: diseño experimental, optimización y modelamiento. El siguiente paso es aprender cómo llevar la investigación desde el laboratorio a la implementación práctica.

En el Capítulo 15 - "Investigación e Innovación Tecnológica", aprenderás las herramientas para transformar resultados de investigación en soluciones implementables. Este capítulo cierra el ciclo desde investigación hasta innovación aplicada.

Conocerás los Prototipos como representación inicial, funcional o semifuncional, de un producto, sistema o tecnología creada para evaluar diseño, desempeño o viabilidad según Ulrich y Eppinger (2016). En ingeniería, el prototipado es fundamental para: detectar fallas tempranas, optimizar el diseño antes de fabricar a escala, reducir costos y tiempos en el desarrollo de productos, validar requerimientos del usuario, realizar pruebas técnicas en condiciones reales o controladas. Aprenderás 4 tipos de prototipos: conceptuales (idea general y arquitectura); funcionales (componentes reales para probar desempeño); alta fidelidad (simulan casi completamente producto final); virtuales (modelos CAD o simulados en SolidWorks, COMSOL, MATLAB).

Dominarás el concepto de MVP (Producto Mínimo Viable - Minimum Viable Product) según Ries (2011) como versión básica pero funcional del producto, incluyendo únicamente características mínimas necesarias para cumplir propuesta de valor y obtener retroalimentación de usuarios reales. El MVP cumple funciones estratégicas: validar hipótesis técnicas y de mercado, evitar inversiones iniciales innecesarias, revelar problemas operativos antes de fase final, acelerar el ciclo de innovación mediante iteraciones continuas. Con ejemplos en ingeniería: sensor ambiental con Arduino, sistema de monitoreo energético básico, dispositivo médico impreso en 3D.

Aprenderás sobre Pruebas piloto como ensayos preliminares en condiciones reales pero controladas, evaluando desempeño, confiabilidad, riesgos y aceptación del prototipo o MVP antes de implementación total según Baxter (2015). Permiten: identificar fallas técnicas, medir parámetros de funcionamiento, evaluar interacción usuario-tecnología, determinar estabilidad del sistema en operación continua, ajustar diseño para escalamiento. Ejemplos: paneles solares temporales, sistema de tratamiento de aguas grises en edificio piloto, modelo de control automático en línea de producción.

Dominarás la Evaluación Costo-Beneficio (ECB) según Boardman et al. (2018) que compara económica y técnicamente costos totales del proyecto frente a beneficios esperados. Aprenderás los 4 elementos principales: costos de inversión (materiales, equipos, diseño, mano de obra, implementación); costos operativos (energía, mantenimiento, repuestos, personal); beneficios (ahorro energético, mayor eficiencia productiva, reducción de desperdicios, menor impacto ambiental, mejora en seguridad industrial); y 4 indicadores utilizados: VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno); Relación B/C (Beneficio/Costo), PR (Periodo de Recuperación).

Prepárate para cerrar el ciclo completo: desde investigación científica hasta innovación tecnológica implementada, dominando las herramientas que te convertirán en ingeniero innovador capaz de transformar ideas en realidades funcionales y económicamente viables.



¡Felicitaciones por completar el Capítulo 14!

Has dominado modelamiento y simulación con validación rigurosa en tres dimensiones.

Ahora es momento de aprender innovación tecnológica: prototipos, MVP y escalamiento.

Capítulo 15

**Investigación
e innovación
tecnológica**

Investigación e innovación tecnológica

15.1. Prototipos

Un prototipo es una representación inicial, funcional o semifuncional, de un producto, sistema o tecnología creada para evaluar su diseño, desempeño o viabilidad (Ulrich y Eppinger, 2016).

En ingeniería, el prototipado es fundamental porque permite:

- Detectar fallas tempranas.
- Optimizar el diseño antes de fabricar a escala.
- Reducir costos y tiempos en el desarrollo de productos.
- Validar requerimientos del usuario.
- Realizar pruebas técnicas en condiciones reales o controladas.

Tipos de prototipos

1. **Prototipos conceptuales:** Se enfocan en la idea general y la arquitectura del sistema.
2. **Prototipos funcionales:** Incluyen componentes reales para probar desempeño.
3. **Prototipos de alta fidelidad:** Simulan casi completamente el producto final.
4. **Prototipos virtuales:** Modelos CAD o simulados en software como SolidWorks, COMSOL o Matlab.

El desarrollo de un prototipo permite iterar rápidamente sobre mejoras y verificar la solución propuesta antes de invertir en manufactura o escalamiento.

15.2. MVP (Producto Mínimo Viable)

El Producto Mínimo Viable (Minimum Viable Product – MVP) es una versión básica pero funcional del producto, que incluye únicamente las características mínimas necesarias para cumplir con la propuesta de valor y obtener retroalimentación de usuarios reales (Ries, 2011).

En ingeniería y desarrollo tecnológico, el MVP cumple funciones estratégicas:

- Permite validar hipótesis técnicas y de mercado.
- Evita inversiones iniciales innecesarias.
- Revela problemas operativos antes de la fase final.
- Acelera el ciclo de innovación mediante iteraciones continuas.

Ejemplos de MVP en ingeniería:

- Un **sensor ambiental** diseñado inicialmente con Arduino antes de desarrollarse con hardware especializado.
- Un **sistema de monitoreo energético** con solo una interfaz básica en lugar de un dashboard completo.
- Un **dispositivo médico** impreso en 3D para validar ergonomía antes de fabricar en polímero biocompatible.

15.3. Pruebas piloto

Las pruebas piloto son ensayos preliminares realizados en condiciones reales pero controladas, cuyo objetivo es evaluar el desempeño, confiabilidad, riesgos y aceptación del prototipo o MVP antes de su implementación total (Baxter, 2015).

Las pruebas piloto permiten:

- Identificar fallas técnicas.
- Medir parámetros de funcionamiento.
- Evaluar la interacción usuario–tecnología.
- Determinar la estabilidad del sistema en escenarios de operación continua.
- Ajustar el diseño para su escalamiento.

Ejemplos de pruebas piloto en ingeniería:

- Instalación temporal de **paneles solares** para validar rendimiento en un distrito específico.
- Prueba de un **sistema de tratamiento de aguas grises** en un edificio piloto.
- Implementación parcial de un **modelo de control automático** en una línea de producción.

15.4. Evaluación costo-beneficio

La evaluación costo-beneficio (ECB) es un análisis que compara económica y técnicamente los costos totales del proyecto frente a los beneficios esperados, expresados en términos monetarios o técnicos (Boardman et al., 2018).

Elementos principales de la ECB:

1. Costos de inversión:

- Materiales.
- Equipos.
- Diseño.
- Mano de obra.
- Implementación.

2. Costos operativos:

- Energía.

- Mantenimiento.
- Repuestos.
- Personal.

3. Beneficios:

- Ahorro energético.
- Mayor eficiencia productiva.
- Reducción de desperdicios.
- Menor impacto ambiental.
- Mejora en la seguridad industrial.

4. Indicadores utilizados:

- Valor Actual Neto (VAN).
- Tasa Interna de Retorno (TIR).
- Relación Beneficio/Costo (B/C).
- Periodo de Recuperación (PR).

Importancia de la ECB en ingeniería

- Garantiza la viabilidad económica antes de la implementación.
- Permite seleccionar alternativas tecnológicas óptimas.
- Reduce riesgos financieros.
- Orienta decisiones de inversión pública y privada.

15.5. Ejemplos reales

Ejemplo 1. Desarrollo de un sistema de monitoreo de ruido ambiental.

- **Prototipo:** Sensor basado en un micrófono MEMS y microcontrolador ESP32.
- **MVP:** Versión con transmisión WiFi y visualización básica en una aplicación web.
- **Prueba piloto:** Instalación en tres puntos críticos de una avenida urbana durante 30 días.
- **Evaluación costo-beneficio:**

- Costo por unidad: 180 USD.
- Beneficios: reducción de quejas ciudadanas, control municipal del ruido, datos precisos para normativas.
- Resultado: relación B/C = 1.8 → viable.

Ejemplo 2. Prototipo de filtro de aguas residuales para una agropecuaria.

- **Prototipo:** Filtro de bioarena con carbón activado y grava.
- **MVP:** Versión reforzada con sensores de turbidez y caudal.
- **Prueba piloto:** Instalación durante dos meses en la granja.
- **Resultado:** Reducción de DBO del 65% y SST del 54%.
- **ECB:**
 - Costo total: 3,200 USD.
 - Beneficios: reducción de multas ambientales y reutilización del efluente.
 - VAN > 0 → viable.

Ejemplo 3. Dispositivo de bajo costo para monitoreo de vibraciones en puentes.

- **Prototipo:** Acelerómetro en tarjeta Arduino Nano.
- **MVP:** Integración con algoritmo FFT para identificar frecuencias propias.
- **Prueba piloto:** Implementación en un puente urbano por 15 días.
- **Resultado:** Se detectaron vibraciones anómalas en horas pico.
- **ECB:** Identificación temprana de daños → alto beneficio en mantenimiento preventivo.

Investigación e innovación tecnológica

■ Resumen del capítulo

Este capítulo cerró el ciclo de la investigación aplicada abordando las herramientas para transformar resultados científicos en soluciones implementables. Se definió el **prototipo** como una representación inicial, funcional o semifuncional, de un producto, sistema o tecnología creada para evaluar su diseño, desempeño o viabilidad. Ulrich y Eppinger (2016) destacan que en ingeniería el prototipado es fundamental para detectar fallas tempranas, optimizar el diseño antes de fabricar a escala, reducir costos y tiempos, validar requerimientos del usuario y realizar pruebas técnicas.

Se presentan cuatro **tipos de prototipos**: (1) conceptuales (enfocados en idea general y arquitectura); (2) funcionales (incluyen componentes reales para probar desempeño); (3) de alta fidelidad (simulan casi completamente el producto final); y (4) virtuales (modelos CAD o simulados en software como SolidWorks o COMSOL). El desarrollo de prototipos permite iterar rápidamente y verificar soluciones antes de invertir en escalamiento.

Se explicó el concepto de **MVP (Producto Mínimo Viable)** según Ries (2011), definido como una versión básica pero funcional que incluye únicamente características mínimas necesarias para cumplir la propuesta de valor y obtener retroalimentación de usuarios reales. Sus funciones estratégicas incluyen validar técnicas/mercado, evitar inversiones innecesarias, revelar problemas operativos y acelerar la innovación mediante iteraciones. Se muestran ejemplos como sensores diseñados con Arduino antes de hardware final o dispositivos médicos impresos en 3D.

Se abordaron las **pruebas piloto** como ensayos preliminares en condiciones reales pero controladas, cuyo objetivo es evaluar desempeño, confiabilidad, riesgos y aceptación antes de la implementación total, según Baxter (2015). Estas pruebas permiten identificar fallas técnicas, medir parámetros, evaluar la interacción usuario-tecnología, determinar la estabilidad y ajustar el diseño para escalamiento.

Se detalla la **Evaluación Costo-Beneficio (ECB)** como análisis que compara económica y técnicamente los costos totales frente a beneficios esperados. Se desglosaron sus elementos principales: costos de inversión (materiales, equipos), costos operativos (energía, mantenimiento), beneficios (ahorro energético, eficiencia, reducción de residuos) e indicadores financieros utilizados como VAN, TIR, Relación B/C y Periodo de Recuperación.

Finalmente, se presentaron **ejemplos reales de aplicación**: (1) Sistema de monitoreo de ruido (prototipo con micrófono MEMS, MVP con WiFi, prueba piloto de 30 días y relación B/C de 1.8). (2) Prototipo de filtro de aguas residuales (reducción de DBO del 65% y VAN positivo). (3) Dispositivo de monitoreo de vibraciones en puentes (MVP con algoritmo FFT e identificación temprana de daños).

🔑 Conceptos clave

- **Prototipo**: Representación inicial, funcional o semifuncional de un producto o sistema creado para evaluar diseño, desempeño o viabilidad antes de la fabricación final.
- **Prototipos conceptuales**: Modelos enfocados en validar la idea general y la arquitectura del sistema sin necesariamente ser funcional.
- **Prototipos funcionales**: Modelos que incluyen componentes reales para probar el desempeño técnico del sistema.
- **Prototipos de alta fidelidad**: Modelos que simulan casi completamente el producto final en apariencia y función.
- **Prototipos virtuales**: Modelos digitales (CAD, simulaciones) creados en software especializado para evaluar el diseño sin construirlo básicamente.
- **MVP (Producto Mínimo Viable)**: Versión básica pero funcional del producto con características mínimas necesarias para cumplir la propuesta de valor y obtener retroalimentación real.
- **Iteración**: Proceso de repetición de ciclos de diseño, prueba y mejora basados en la retroalimentación obtenida de prototipos o MVPs.
- **Pruebas piloto**: Ensayos preliminares realizados en condiciones reales pero controladas para evaluar el desempeño, confiabilidad y riesgos antes de la implementación total.
- **Evaluación Costo-Beneficio (ECB)**: Análisis que compara los costos totales del proyecto frente a los beneficios esperados (monetarios o técnicos) para determinar la viabilidad.
- **Costos de inversión**: Gastos iniciales necesarios para el proyecto, incluyendo materiales, equipos, diseño, mano de obra e implementación.
- **Costos operativos**: Gastos recurrentes necesarios para el funcionamiento del sistema, como energía, mantenimiento, repuestos y personal.

- **Beneficios técnicos/económicos:** Ganancias generadas por el proyecto, como ahorro energético, mayor eficiencia, reducción de desperdicios o mejora en seguridad.
- **Indicadores financieros:** Métricas para evaluar rentabilidad: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio/Costo (B/C) y Periodo de Recuperación (PR).

💡 Ideas principales

1. El prototipo es fundamental en ingeniería no solo para crear productos, sino para detectar fallas tempranas, optimizar diseños antes de fabricar a escala y reducir costos de desarrollo.
2. Existen cuatro tipos de prototipos (conceptuales, funcionales, de alta fidelidad, virtuales) y su elección depende de la etapa del proyecto y qué aspecto específico se desea validar.
3. El desarrollo de prototipos permite iterar rápidamente sobre mejoras y verificar la solución propuesta antes de realizar grandes inversiones en fabricación o escalamiento.
4. El MVP (Producto Mínimo Viable) se diferencia del prototipo en que está diseñado para obtener retroalimentación de usuarios reales con las características mínimas funcionales, validando hipótesis de mercado y técnicas.
5. Las funciones estratégicas del MVP incluyen evitar inversiones iniciales innecesarias, revelar problemas operativos antes de la fase final y acelerar el ciclo de innovación.
6. Las pruebas piloto son el paso intermedio crítico entre el prototipo y la implementación total, permitiendo evaluar la interacción usuario-tecnología y determinar la estabilidad del sistema operación en continua.
7. La Evaluación Costo-Beneficio (ECB) es indispensable en ingeniería para garantizar la viabilidad económica antes de la implementación y orientar decisiones de inversión pública o privada.
8. El enfoque cualitativo es útil en áreas de ingeniería como seguridad industrial (entender incumplimiento de protocolos), ingeniería de sistemas humanos (factores humanos), gestión de proyectos (cultura organizacional), ergonomía (experiencia del usuario) e ingeniería ambiental social (percepción ciudadana).
9. El enfoque mixto combina datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, integrando análisis estadístico y análisis interpretativo, fortaleciendo la validez al triangular datos desde diferentes perspectivas.
10. El enfoque mixto es especialmente útil para problemas donde intervienen tanto variables técnicas (medibles numéricamente) como variables humanas (percepciones, experiencias, comportamientos), proporcionando una comprensión más completa del fenómeno.
11. Los estudios descriptivos detallan características o propiedades de un fenómeno sin establecer relaciones causales, siendo útiles como estudios preliminares o diagnósticos que caracterizan el estado actual de un sistema.

12. Los estudios correlacionales analizan el grado de relación entre dos o más variables sin afirmar causalidad, usando coeficientes como r de Pearson (variables continuas) o ρ de Spearman (variables ordinales o relaciones no lineales), siendo esenciales para modelamiento predictivo.
13. Los estudios experimentales prueban relaciones causa-efecto manipulando variables independientes bajo condiciones controladas, con cuatro características fundamentales: manipulación de variables, grupos control y experimental, aleatorización, y replicación.
14. Los estudios experimentales permiten inferir causalidad (afirmar que X causa Y), lo cual los diferencia de los correlacionales que solo identifican asociación (X y Y se relacionan). Son fundamentales en ingeniería química, mecánica, civil, eléctrica y en investigación con prototipos.
15. Los estudios explicativos buscan identificar las causas profundas que originan un fenómeno y construir modelos teóricos o matemáticos que lo describan, con alta complejidad, combinando modelo teórico y análisis experimental avanzado, siendo más comunes en tesis de posgrado.
16. Los estudios tecnológicos e ingenieriles son los más frecuentes en ingeniería porque se orientan a crear, mejorar o validar tecnologías, procesos, prototipos o sistemas que resuelven problemas reales mediante soluciones tecnológicas concretas.
17. Las características de estudios tecnológicos incluyen: diseños (planos, especificaciones), simulaciones (modelado computacional), modelos CAD (diseño asistido por computadora), prototipos (versiones funcionales), pruebas piloto (validación a escala), con orientación aplicada y énfasis en optimización, escalamiento y automatización.
18. La tabla de decisión muestra recomendaciones: diagnóstico inicial (cuantitativo/mixto + descriptivo), buscar relaciones (cuantitativo + correlacional), probar eficacia (cuantitativo + experimental), comprender factores humanos (cualitativo + fenomenológico), explicar causas (cuantitativo + explicativo), crear tecnología (cuantitativo/mixto + tecnológico).
19. La selección del enfoque y tipo no es arbitraria sino que depende de cuatro factores críticos: naturaleza del problema (qué se estudia), tipo de datos disponibles (qué se puede medir u observar), complejidad del sistema (número de variables e interacciones), y objetivos de investigación (qué se busca lograr).
20. Cada rama de ingeniería tiende a usar ciertos enfoques con más frecuencia, pero la decisión final siempre debe basarse en el problema específico, no en preferencias personales o tradiciones disciplinares.

✂ **Para recordar**

✓ **Prototipo:** Representación inicial para evaluar diseño/desempeño (Ulrich y Eppinger, 2016).

✓ **Importancia:** Detectar fallas + Optimizar diseño + Reducir costos + Validar requisitos.

✓ **4 tipos:** (1) Conceptuales | (2) Funcionales | (3) Alta fidelidad | (4) Virtuales.

✓ **MVP (Ries, 2011):** Versión básica funcional para validar hipótesis y obtener retroalimentación real.

✓ **Funciones MVP:** Validar mercado + Evitar gastos innecesarios + Revelar problemas operativos.

✓ **Pruebas piloto (Baxter, 2015):** Ensayos en condiciones reales controladas antes de implementación total.

✓ **Objetivo piloto:** Identificar fallas + Medir parámetros + Evaluar estabilidad.

✓ **Evaluación Costo-Beneficio (ECB):** Comparación económica/técnica de costos vs beneficios.

✓ **Elementos ECB:** Inversión (materiales/equipos) + Operación (energía/mantenimiento) vs Beneficios (ahorro/eficiencia).

✓ **Indicadores:** VAN (Valor Actual Neto) | TIR (Tasa Interna Retorno) | B/C (Beneficio/Costo) | PR (Periodo Recuperación).

✓ **Ciclo de Innovación:** Prototipo → MVP → Piloto → Evaluación Económica.

■ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te guiarán en la planificación del desarrollo tecnológico de tu solución, desde el prototipado hasta la evaluación de viabilidad económica.

Ejercicio 1: Definición de tipos de prototipos: Para tu proyecto, define qué prototipos necesitarán: (a) Prototipo Conceptual: ¿Cómo representarás la idea general? (b) Prototipo Virtual: ¿Qué software usarás para simularlo (CAD, circuitos, procesos)? (c) Prototipo Funcional: ¿Qué componentes clave deben tener para probar que funciona? (d) Prototipo de Alta Fidelidad: ¿Cómo será la versión final precomercial? Justifica cada elección.

Ejercicio 2: Diseño del MVP (Producto Mínimo Viable): Define tu MVP: (a) ¿Cuáles son las características mínimas indispensables para que tu solución funcione? (b) ¿Qué características dejarán para versiones futuras (no esenciales

ahora)? (c) ¿Qué hipótesis específica quieres validar con este MVP? (d) ¿Quiénes serán los usuarios que probarán este MVP?

Ejercicio 3: Planificación de la prueba piloto: Diseña tu prueba piloto: (a) Ubicación: ¿Dónde se realizará (ambiente real pero controlado)? (b) Duración: ¿Cuánto tiempo durará la prueba? (c) Muestra: ¿Cuántas unidades o usuarios participarán? (d) Variables a medir: ¿Qué datos técnicos recogerás para validar el desempeño? (e) Criterios de éxito: ¿Qué resultados deben obtenerse para considerar la prueba exitosa?

Ejercicio 4: Análisis de costos: Estima los costos de tu proyecto tecnológico: (a) Costos de Inversión: Lista materiales, equipos, desarrollo de software, mano de obra inicial. (b) Costos Operativos: Estimación consumo de energía, mantenimiento mensual, insumos, personal de operación. (c) Calcule el costo total estimado para el primer año.

Ejercicio 5: Identificación de beneficioS: Cuantifica los beneficios esperados: (a) Beneficios Técnicos: ¿Ahorro de energía (kWh), reducción de tiempo (horas), disminución de residuos (kg)? (b) Beneficios Económicos: Traducir los beneficios técnicos a dinero. ¿Cuánto se ahorra o se gana anualmente? (c) Beneficios Sociales/Ambientales: ¿Mejora la seguridad, reduce la contaminación, mejora la calidad de vida? (Intento cuantificarlos si es posible).

Ejercicio 6: Evaluación de viabilidad (Indicadores): Con los datos anteriores: (a) Calcula la relación Beneficio/Costo (B/C). ¿Es mayor un 1? (b) Estima el Periodo

de Recuperación (PR): ¿En cuánto tiempo los beneficios acumulados pagarán la inversión? (c) Interpreta: ¿Tu solución tecnológica es económicamente viable?

→ **Siguiente paso**

¡Excelente trabajo! Ha cerrado el ciclo de la investigación aplicada. Ha diseñado prototipos, definido tu MVP, planificado pruebas piloto y evaluadas la viabilidad económica de tu solución tecnológica. Ahora tienes una propuesta de innovación completa, validada técnica y económicamente.

El siguiente paso es aprender a comunicar todo este trabajo de manera formal y académica. Entramos en la Parte V: Elaboración y Presentación del Informe Final.

En el Capítulo 16 - "Estructura del Informe de Tesis", aprenderás a organizar toda tu investigación en un documento riguroso y coherente. Conocerás la estructura internacional estándar (Portada, Resumen, Introducción, Problema, Marco Teórico, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones). Aprenderás a redactar cada sección con claridad técnica, diferenciando entre resultados (lo que encontraste) y discusión (qué significa). También verás una plantilla completa de tesis lista para adaptar a cualquier proyecto ingenieril.

Prepárate para documentar tu investigación con el rigor que exige la comunidad científica y profesional.



***¡Felicidades por completar el Capítulo 15!
Ha dominado la innovación tecnológica y la evaluación de proyectos. Ahora es momento de aprender a redactar el informe final de tu investigación.***

Parte V

**Elaboración
y presentación
del informe final**

Parte V

Elaboración y presentación del informe final

Capítulos incluidos:

- Capítulo 16: Estructura del informe de tesis
- Capítulo 17: Presentación de resultados
- Capítulo 18: Artículo científico para ingenieros
- Capítulo 19: Sustentación oral del proyecto o tesis

Capítulo 16

**Estructura
del informe
de tesis**

Estructura del informe de tesis

El informe de tesis es el documento final que presenta el proceso y los resultados de la investigación científica. Su estructura no solo organiza la información, sino que también demuestra claridad, rigor técnico y coherencia con el método científico (Hernández y Mendoza, 2018).

En ingeniería, un buen informe debe destacar la lógica del problema, los métodos aplicados, los cálculos, las pruebas experimentales, los resultados y la utilidad técnica de las conclusiones.

16.1. Capítulos

Aunque cada universidad puede tener formatos propios, la estructura internacional más aceptada para una tesis de ingeniería incluye los siguientes capítulos:

1. Portada

Incluye el título, autor, institución, facultad, escuela, asesor y año.

2. Resumen / Abstract

- 150–250 palabras.
- Presenta objetivo general, diseño metodológico, resultados clave y conclusión principal.

- Debe ser claro, conciso y en tercera persona.

3. Introducción

Explica el contexto general del problema, su relevancia y el propósito del estudio.

4. Planteamiento del problema

Incluye:

- Problema central.
- Problemas específicos.
- Descripción del contexto.
- Delimitación.
- Preguntas de investigación.

5. Justificación

Sustenta la importancia técnica, social, económica y científica del estudio.

6. Objetivos

- Objetivo general.
- Objetivos específicos.

Redactados con verbos técnicos apropiados (optimizar, evaluar, diseñar).

7. Marco teórico

Incluye:

- Antecedentes.
- Bases teóricas.
- Modelos, principios, ecuaciones.
- Conceptos clave.
- Citas y referencias.

7. Hipótesis y variables

- Hipótesis general y específicas.
- Variables operacionales.
- Matriz de consistencia.

8. Metodología

Compuesta por:

- Tipo y diseño de investigación.
- Enfoque.
- Población y muestra.
- Técnicas e instrumentos.
- Métodos de análisis de datos.
- Procedimiento técnico.

10. Resultados

Tablas, gráficos, análisis estadístico, pruebas experimentales, modelos, simulaciones.

11. Discusión

Interpreta los resultados, compara con antecedentes, evalúa hipótesis.

12. Conclusiones

Responden directamente a los objetivos.

13. Recomendaciones

Basadas en los hallazgos.

14. Referencias

Formato APA.

15. Anexos

Incluyen instrumentos, códigos, planos, fotos, instrucciones técnicas, fichas, calibraciones, etc.

16.2. Cómo redactar cada sección

A continuación, se ofrece una guía práctica y didáctica para redactar cada parte:

A. Introducción

- Presenta el problema general.
- Explica la importancia del tema.
- Describe el objetivo principal.
- No incluye resultados ni conclusiones.

Recomendación: escribe la introducción al final, cuando ya tengas todo el estudio.

B. Planteamiento del problema

Debe responder a:

- ¿Qué ocurre?
- ¿Dónde ocurre?
- ¿A quién afecta?
- ¿Por qué es importante resolverlo?

Incluye datos preliminares, un árbol de problemas y la delimitación tiempo-espacio.

C. Justificación

Debes argumentar por qué vale la pena realizar la investigación:

- Técnica.
- Social.
- Económica.

- Ambiental.
- Científica.

Evita frases generales como “es importante porque sí”.

D. Objetivos

- Usa verbos técnicos en infinitivo.
- El objetivo general debe ser uno solo.
- Los específicos deben ser medibles y coherentes con el general.

Ejemplo:

“Evaluar el desempeño del sistema de tratamiento de efluentes mediante un análisis físico-químico”.

E. Marco teórico

Incluye:

- Antecedentes recientes y relevantes.
- Bases conceptuales y ecuaciones.
- Modelos ingenieriles.

Usa fuentes confiables: artículos indexados, libros, normas técnicas, IEEE, ASME, etc.

F. Metodología

Aclara:

- Tipo de estudio (experimental, descriptivo, correlacional, etc.).
- Enfoque (cuantitativo, cualitativo, mixto).
- Procesos técnicos: tiempos, instrumentos, diseños experimentales, calibración.
- Análisis de datos empleando software (Excel, Python, Matlab).

Debe describirse de forma que cualquier ingeniero pueda replicarla (criterio de reproducibilidad).

G. Resultados

- Incluye tablas, gráficos, fotografías de laboratorio, cálculos y modelos.
- Los gráficos deben tener título, unidades y leyendas claras.
- Presenta los datos sin interpretarlos.

H. Discusión

- Analiza los resultados: ¿son lógicos?, ¿se cumplen las hipótesis?
- Compara con la literatura científica.
- Identifica mejoras y limitaciones.

I. Conclusiones

- Sintetiza hallazgos clave.
- Responde directamente a los objetivos.
- No incluye recomendaciones.

J. Recomendaciones

Deben ser:

- Claras.
- Factibles.
- Técnicas.

Ejemplo:

“Se recomienda incrementar la frecuencia de mantenimiento del sensor de pH para mejorar la precisión del sistema de monitoreo”.

K. Referencias

Usa APA 7.

Ejemplo:

Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

L. Anexos

Incluye material complementario:

- Fotografías del laboratorio.
- Certificados de calibración.
- Mapas.
- Formatos de encuestas.
- Planos y diagramas.
- Códigos utilizados (Python, Matlab, Arduino).

16.3. Plantilla completa de tesis

Este diagrama unifica los apartados solicitados con los comentarios técnicos y las recomendaciones de rigor metodológico:

I. Bloque de identificación y síntesis

- **Portada y Preliminares:** Debe ser sobria. El título debe contener la Variable Independiente + Variable Dependiente + Población.
- **Resumen / Abstract:** Máximo 250 palabras. Estructura: Objetivo + Método + Resultado principal + Conclusión. Es la carta de presentación de tu hallazgo.

II. Bloque de fundamentación (El "Porqué")

- Cap. 2 y 3. El Problema y el Marco Teórico: * Recomendación: La delimitación debe ser espacial, temporal y social.
Modelos y Ecuaciones: No solo enunciarlas, sino explicar su pertinencia para el problema planteado.

- Cap. 4 y 5. Objetivos, Hipótesis y Variables: * Matriz de Consistencia: Es el corazón del esquema. Debe haber una alineación vertical perfecta entre Problema → Objetivo → Hipótesis → Variable.

III. Bloque metodológico y operativo (El "Cómo")

- Cap. 6. Metodología: * Población y Muestra: Aplicar el sentido estadístico (Finitas/Infinitas).
Procedimientos: Aquí es donde se incluyen los diagramas de flujo de simulación o algoritmos comentados previamente.
- Cap. 7. Resultados: Presentación de tablas estandarizadas y gráficos de alta resolución. Las simulaciones deben mostrar claramente las isoconcentraciones o puntos de interés técnico.

IV. Bloque analítico y de cierre (El "Para qué")

- Cap. 8 y 9. Discusión y Conclusiones: * Discusión: No es repetir resultados, es contrastarlos con Montgomery (2020) u otros autores del marco teórico.
Conclusiones: Deben dar respuesta directa a los objetivos específicos planteados en el Cap. 4.
- Referencias y Anexos: Uso estricto de APA 7. Los anexos deben incluir los códigos de simulación, planos o instrumentos que validen la reproducibilidad del estudio.

Estructura del informe de tesis

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó la elaboración del informe de tesis como el documento final que presenta el proceso y los resultados de la investigación científica. Se desarrolló que su estructura no solo organiza la información, sino que demuestra claridad, rigor técnico y coherencia con el método científico, destacando en ingeniería la lógica del problema, métodos aplicados, cálculos, pruebas experimentales y utilidad técnica. Se detalla la estructura estándar internacional para una tesis de ingeniería, compuesta por 15 elementos principales: Portada, Resumen/Abstract (150-250 palabras presentando objetivo, método, resultados y conclusión), Introducción (contexto y propósito), Planteamiento del Problema (descripción y preguntas), Justificación (técnica, social, económica), Objetivos, Marco Teórico, Hipótesis y Variables, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones, Recomendaciones, Referencias y Anexos. Se proporciona una guía práctica para redactar cada sección. Para la Introducción, se recomendó escribirla al final, presentando el problema general sin incluir resultados. El **Planteamiento del Problema** debe responder qué ocurre, dónde y por qué es importante, incluyendo datos preliminares. La **Metodología** debe describirse con criterio de reproducibilidad, detallando tipo, enfoque, procesos técnicos y análisis de datos para que cualquier ingeniero pueda replicarla. Se hizo una distinción crucial entre **Resultados y Discusión**. Los resultados presentan los datos (tablas, gráficos, cálculos) de forma objetiva sin interpretarlos, mientras que la discusión analiza si son lógicos, compara con la literatura previa, evalúa hipótesis e identifica limitaciones. Las **Conclusiones** deben sintetizar hallazgos clave y responder directamente a los objetivos sin incluir recomendaciones. Las Recomendaciones deben ser claras, factibles y técnicas. Finalmente, se presentó una plantilla universal de lista de tesis para adaptar a cualquier proyecto ingenioso.

🔑 Conceptos clave

- **Informe de tesis:** Documento final que presenta el proceso y resultados de la investigación, demostrando claridad, rigor técnico y coherencia metodológica.
- **Resumen (Abstract):** Síntesis de 150-250 palabras que presenta el objetivo general, diseño metodológico, resultados clave y conclusión principal, redactado en tercera persona.
- **Introducción:** Sección que explica el contexto general del problema, su relevancia y el propósito del estudio, recomendándose su redacción al finalizar todo el trabajo.
- **Planteamiento del problema:** Sección que describe la realidad problemática, respondiendo qué ocurre, dónde, a quién afecta y por qué es importante resolverlo, incluyendo delimitación espacio-temporal.
- **Justificación:** Argumentación de la importancia del estudio en sus dimensiones técnica, social, económica, ambiental y científica.
- **Objetivos:** Metas de la investigación redactadas con verbos técnicos en infinitivo (analizar, evaluar, diseñar), debiendo ser el general único y los específicos medibles.
- **Marco teórico:** Base conceptual que incluye antecedentes recientes, bases teóricas, modelos ingenieros, ecuaciones y definición de términos, citando fuentes confiables.
- **Metodología:** Descripción detallada del tipo/diseño, enfoque, población/muestra, instrumentos y procedimientos técnicos, escrita bajo el criterio de reproducibilidad.
- **Criterio de reproducibilidad:** Principio de redacción metodológica que asegura que el procedimiento está tan bien descrito que otro investigador podría repetir el estudio y obtener resultados similares.
- **Resultados:** Presentación objetiva de los hallazgos mediante tablas, gráficos, modelos y pruebas estadísticas, sin incluir interpretaciones subjetivas.
- **Discusión:** Sección interpretativa donde se analizan los resultados, se comparan con antecedentes, se evalúan las hipótesis y se identifican limitaciones del estudio.
- **Conclusiones:** Síntesis de los hallazgos más relevantes que responden directamente a los objetivos planteados, cerrando el ciclo de la investigación.
- **Recomendaciones:** Sugerencias técnicas, factibles y claras derivadas de los hallazgos para mejorar procesos, futuras investigaciones o aplicaciones prácticas.
- **Anexos:** Material complementario que respalda la investigación, pero interrumpiría el flujo del texto principal (instrumentos, planos, códigos, certificados de calibración).

💡 Ideas principales

1. El informe de tesis en ingeniería debe destacar la lógica del problema, la rigurosidad de los métodos aplicados (cálculos, pruebas experimentales) y la utilidad técnica de las conclusiones.
2. La estructura estándar internacional (Portada, Resumen, Introducción, Problema, Marco Teórico, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones) garantiza el orden y la comprensión académica del trabajo.
3. El **Resumen** es una pieza crítica que debe condensar todo el estudio (objetivo, método, resultados, conclusión) en máximo 250 palabras, siendo a menudo lo único que leen otros investigadores.
4. La **Introducción** presenta el contexto y propósito, pero no debe adelantar resultados ni conclusiones; Se recomienda redactarla al final del proceso de escritura.
5. La **Justificación** no debe usar frases vacías ("es importante porque sí"), sino argumentos sólidos sobre el impacto técnico, social, económico o ambiental de la solución propuesta.
6. La **Metodología** tiene como función principal garantizar la reproducibilidad: debe describir procesos, tiempos, instrumentos y software (Excel, Python, MATLAB) con suficiente detalle.
7. Existe una diferencia fundamental entre **Resultados** y **Discusión**: los Resultados muestran la evidencia "cruda" u organizada (tablas/gráficos), mientras que la Discusión interpreta qué significan esos datos y cómo se relacionan con la teoría.
8. Las **Conclusiones** deben ser respuestas directas a los objetivos específicos y generales; si un objetivo era "Evaluar la eficiencia", la conclusión debe decir "La eficiencia fue de X%".
9. Las **Recomendaciones** deben ser acciones concretas y factibles (ej: "Incrementar frecuencia de mantenimiento"), no deseos vagos.
10. Los **Anexos** son vitales en ingeniería para incluir evidencias técnicas extensas como planos, códigos de programación, fichas de datos de seguridad o certificados de calibración.

⚡ Para recordar

- ✓ **Estructura Estándar:** Portada → Resumen → Introducción → Problema → Marco Teórico → Metodología → Resultados → Discusión → Conclusiones.
- ✓ **Resumen:** 150-250 palabras | Objetivo + Método + Resultados + Conclusión.
- ✓ **Introducción:** Escribirla al final.
- ✓ **Justificación:** Argumentar valor Técnico + Social + Económico + Científico.
- ✓ **Metodología:** Clave = Reproducibilidad (que otro pueda repetirlo).
- ✓ **Resultados:** Presentar datos (tablas/gráficos) sin interpretar.
- ✓ **Discusión:** Interpretar, comparar con teoría y evaluar hipótesis.
- ✓ **Conclusiones:** Responder directamente a los objetivos.
- ✓ **Recomendaciones:** Deben ser claras, factibles y técnicas.

- ✓ **Anexos:** Lugar para planos, códigos, fichas y certificados.

☛ **Aplica lo aprendido**

Estos ejercicios te ayudarán a estructurar y redactar las secciones clave de tu informe final de tesis.

Ejercicio 1: Estructura del índice: Basándote en la plantilla proporcionada en el capítulo, crea el índice detallado de tu tesis. Incluye los títulos de los capítulos y los subtítulos específicos que aplican a tu tema (ej: en Marco Teórico, lista tus temas específicos; en Metodología, especifica tu diseño).

Ejercicio 2: Redacción del resumen (Borrador): Redacta un borrador de tu resumen siguiendo la estructura: (1) Propósito/Objetivo (1 frase). (2) Metodología/Diseño (1-2 frases). (3) Resultados principales con datos cuantitativos (2-3 frases). (4) Conclusión principal (1 frase). Verifica que no exceda las 250 palabras.

Ejercicio 3: Diferenciación Resultados vs Discusión: Toma un resultado clave de tu investigación (real o esperado). (A) Escribe cómo lo presentarías en el capítulo de Resultados (dato objetivo, referencia a tabla/gráfico). (B) Escribe cómo lo tratarías en el capítulo de Discusión (interpretación, comparación con otro autor, explicación de la causa).

Ejercicio 4: Redacción de conclusiones: Revisa tus objetivos específicos. Para cada uno, redacta una conclusión directa que le dé respuesta. Asegúrese de usar los datos obtenidos para sustentar la afirmación.

- Obj. Esp. 1: _____ -> Conclusión 1: _____

- Obj. Esp. 2: _____ -> Conclusión 2: _____
- Obj. Esp. 3: _____ -> Conclusión 3: _____

Ejercicio 5: Lista de verificación de anexos: Haz una lista de los documentos técnicos que deberías incluir en los anexos para dar soporte a tu tesis (planos, códigos, hojas de datos, certificados, encuestas vacías, fotos de laboratorio).

→ **Siguiente paso**

¡Excelente! Ahora tienes la estructura completa de tu informe de tesis y sabes cómo redactar cada sección con el rigor técnico adecuado. Tu investigación está lista para ser plasmada en el documento final.

Sin embargo, tener los datos no es suficiente; Hay que saber mostrarlos visualmente para que sean impactantes y comprensibles. En el Capítulo 17 - "Presentación de Resultados", profundizará específicamente en cómo diseñar tablas y gráficos profesionales.

Aprenderás las normas APA 7 para tablas (títulos, líneas, notas), los tipos de gráficos más usados en ingeniería (líneas para tendencias, dispersión para relaciones, boxplot para variabilidad) y técnicas para no saturar la información visual. También verás cómo estructurar la discusión de resultados para interpretar hallazgos, comparar con estudios previos y explicar limitaciones sin restablecer valor a tu trabajo.

Prepárate para convertir tus datos brutos en visualizaciones profesionales que hablen por sí mismos.



¡Felicidades por completar el Capítulo 16!

Ya tienes el esqueleto de tu tesis. Ahora vamos a perfeccionar la presentación visual y análisis de tus hallazgos.

Capítulo 17

**Presentación
de resultados**

Presentación de resultados

Presentar resultados es una de las etapas más importantes de toda investigación científica. No basta con obtener datos: es necesario organizarlos, visualizarlos y explicarlos de manera clara, precisa y técnicamente rigurosa.

En ingeniería, donde los datos suelen ser numéricos, experimentales o provenientes de sistemas complejos, la presentación adecuada permite que otros investigadores, docentes, jurados o empresas comprendan rápida y exactamente lo que se logró.

17.1. Cómo mostrar Tablas

Las Tablas permiten presentar datos de forma ordenada y comparativa. Según APA 7, una tabla debe ser clara, autosuficiente y contener únicamente la información necesaria (American Psychological Association, 2020).

Normas básicas

- Ubicar el título encima de la Tabla.
- Evitar líneas verticales.
- Usar un número identificador: *Tabla 1*, *Tabla 2*...
- Los encabezados deben ser breves y precisos.
- Las unidades deben aparecer en los encabezados o notas.
- Debajo, incluir nota general, específica o de probabilidad.

Ejemplo de Tabla:

Tabla 7

Valores promedio de presión en un sistema hidráulico a diferentes cargas.

Carga (kg)	Presión (psi)	Desviación estándar
50	120	4.5
100	210	5.1
150	305	6.2

Nota. Datos del experimento realizado en el laboratorio de Mecánica de Fluidos de la UNAP, 2026.

Buenas prácticas para ingeniería:

- Usar SI (Sistema Internacional) siempre que sea posible.
- Ordenar de menor a mayor o por relevancia técnica.
- Reducir el número de decimales a la precisión significativa.

17.2. Cómo mostrar gráficos

Los gráficos permiten **interpretar tendencias, comparar grupos y visualizar patrones**, y son especialmente útiles en sistemas físicos, térmicos, químicos y ambientales (Montgomery y Runger, 2018).

Gráficos más usados en ingeniería:

- **Línea:** Tendencias temporales (temperatura, vibración, ruido).
- **Barras:** Comparación de categorías o tratamientos.
- **Pastel:** Proporciones simples.
- **Dispersión:** Relaciones entre variables (velocidad vs. presión).
- **Boxplot:** Variabilidad y valores atípicos.
- **Histogramas:** Distribución de datos.

Recomendaciones técnicas:

- Colocar unidades en ambos ejes.
- Incluir leyenda cuando haya más de una serie.
- Elegir colores con contraste.
- No saturar gráficos con demasiados datos.
- Añadir interpretación en el texto, no en la Figura.

Ejemplo de Figura:

Figura 14

Curva de temperatura del sistema térmico durante 30 minutos.



17.3. Discusión de resultados

La discusión es donde el investigador **interpreta, explica, compara y evalúa** lo que los resultados significan. No se repiten los datos: se analizan.

De acuerdo con Creswell y Creswell (2018), la discusión debe responder:

1. **¿Qué significan los resultados?**
¿Aumentó la eficiencia, bajó la turbidez, mejoró el flujo?
2. **¿Se cumplieron los objetivos?**
Relación directa con el objetivo general y específicos.

3. **¿Coinciden con estudios previos?**

Comparación con autores referentes en ingeniería.

4. **¿Qué explicaría los resultados?**

Factores ambientales, errores experimentales, fallas de sensores, variabilidad del sistema.

5. **¿Qué limitaciones hubo?**

Muestras pequeñas, equipos con margen de error, tiempo restringido.

6. **¿Qué se recomienda para futuras investigaciones?**

Mejorar instrumentos, realizar estudios a mayor escala, aplicar modelos más complejos.

Estructura recomendada para discutir resultados

1. Introducción breve del hallazgo principal.
2. Comparación con literatura científica.
3. Explicación técnica del fenómeno físico/químico/ambiental.
4. Limitaciones.
5. Contribuciones o implicancias para la ingeniería.

Ejemplo

Los resultados mostraron que la eficiencia del filtro aumentó de 45% a 68% tras incorporar carbón activado. Esto coincide con lo reportado por López (2021), quien encontró eficiencias superiores al 60% en filtros híbridos. La mejora puede deberse al aumento de la absorción superficial. Sin embargo, el caudal disminuyó un 10%, lo que constituye una limitación del diseño actual.

17.4. Errores comunes

1. Confundir resultados con discusión.
→ En resultados se presentan datos; en discusión se interpretan.
2. No colocar unidades o escalas.
→ Error crítico en ingeniería.
3. Tablas saturadas con demasiados datos.

4. Gráficos mal rotulados o sin título.
5. No reportar el número de réplicas.
6. No indicar el margen de error o desviación estándar.
7. Hacer afirmaciones sin evidencia estadística.
8. Cambiar el objetivo original en la etapa final.
9. Copiar valores sin explicarlos.
10. Usar colores inadecuados o ilegibles en gráficos.

Presentación de resultados

■ Resumen del capítulo

Este capítulo se centró en la etapa crucial de organizar, visualizar y explicar los datos obtenidos en la investigación. Se desarrolló que en ingeniería no basta con obtener datos; es necesario presentarlos de manera clara, precisa y técnicamente rigurosa para que sean comprendidos rápidamente. Se detallaron las normas para presentar **Tablas** según el estilo APA 7, indicando que deben ser claras, autosuficientes y contener solo información necesaria. Se especificaron reglas básicas como ubicar el título encima, evitar líneas verticales, usar encabezados precisos e incluir notas explicativas al pie. Se ofrecieron buenas prácticas para ingeniería, como el uso del Sistema Internacional (SI), el ordenamiento lógico de datos y el uso de precisión significativa en decimales. Se explicó el uso de **Gráficos** para interpretar tendencias y visualizar patrones en sistemas físicos, térmicos o químicos. Se describieron los tipos más usados en ingeniería: gráficos de línea (tendencias temporales); barras (comparaciones); pastel (proporciones); dispersión (relaciones entre variables como velocidad vs presión); boxplot (variabilidad y valores atípicos); e histogramas. Se dieron recomendaciones técnicas como colocar unidades en ejes, usar leyendas claras, evitar la saturación y agregar la interpretación en el texto, no en la figura. Se abordó la **Discusión de Resultados** como la sección donde se interpreta, explica y evalúa el significado de los datos, diferenciándola de la simple presentación. Según Creswell y Creswell (2018), la discusión debe responder qué significan los resultados, si se cumplieron objetivos, si coinciden con estudios previos, qué explica los hallazgos y qué limitaciones hubo. Se propuso una estructura recomendada: hallazgo principal, comparación con literatura, explicación técnica, limitaciones e implicancias. Finalmente, se listaron 10 **errores comunes** a evitar, como confundir resultados con discusión, omitir unidades o escalas (error crítico en ingeniería), saturar tablas, no reportar réplicas o hacer afirmaciones sin evidencia estadística.

🔑 Conceptos clave

- **Resultados:** Sección del informe donde se presentan los datos obtenidos de forma objetiva, ordenada y sin interpretaciones subjetivas, utilizando tablas, gráficos y textos descriptivos.
- **Discusión:** Sección interpretativa donde el investigador explica el significado de los hallazgos, los compara con la teoría y antecedentes, y evalúa el cumplimiento de hipótesis.
- **Tablas (APA 7):** Herramientas para presentar datos numéricos o textuales de forma exacta. Se caracterizan por tener el título arriba, bordes horizontales solamente y notas al pie.
- **Gráficos de línea:** Visualización ideal para mostrar tendencias o cambios de una variable continua a lo largo del tiempo (ej: temperatura vs tiempo).
- **Gráficos de dispersión (Scatter plot):** Visualización que muestra la relación entre dos variables numéricas, útil para identificar correlaciones o patrones (ej: presión vs caudal).
- **Boxplot (Diagrama de caja):** Gráfico estadístico que resume la distribución de datos mediante cuartiles, permitiendo visualizar rápidamente la mediana, dispersión y valores atípicos (outliers).
- **Autosuficiencia:** Característica de una buena tabla o gráfico que permite entender su contenido sin necesidad de leer el texto principal del documento.
- **Leyenda:** Elemento gráfico que identifica qué representa cada serie de datos, color o símbolo en un gráfico, esencial cuando se comparan múltiples variables.
- **Interpretación técnica:** Explicación de los resultados basada en principios físicos, químicos o ingenieros, yendo más allá de la descripción estadística.
- **Limitaciones:** Reconocimiento honesto de las restricciones del estudio (tamaño de muestra, precisión de equipos, condiciones ambientales) que pueden afectar la generalización de los resultados.

🔑 Ideas Principales

1. La presentación de resultados no es solo estética; es una demostración de rigor técnico que permite a otros comprender y validar los hallazgos de la investigación.
2. Las tablas son ideales para presentar valores numéricos exactos y comparaciones detalladas, mientras que los gráficos son superiores para mostrar tendencias, patrones y relaciones visuales.
3. Según las normas APA 7, las tablas en ingeniería no deben tener líneas verticales divisorias y el título debe ir en la parte superior, mientras que en las figuras el título va en la parte inferior (nota: APA 7 actualizó esto y ahora las figuras también llevan título arriba, pero el texto mantiene la distinción clásica de ingeniería donde las leyendas explicativas suelen ir abajo).

4. En ingeniería es un error crítico presentar gráficos o tablas sin unidades de medida (SI) o escalas claras; un número sin unidad carece de significado físico.
5. La sección de Resultados debe ser puramente descriptiva ("la temperatura aumentó a 80°C"), mientras que la Discusión es interpretativa ("el aumento de temperatura se debe a la reacción exotérmica").
6. Una buena discusión no repite los datos, sino que responde: ¿Qué significa? ¿Por qué ocurrieron? ¿Coincide con la teoría? ¿Qué implicaciones tienen?
7. Los gráficos de dispersión y boxplots son herramientas visuales poderosas en ingeniería para mostrar relaciones entre variables y variabilidad de procesos, respectivamente.
8. Es fundamental no saturar los gráficos con demasiados datos o "ruido visual"; la claridad y el contraste son esenciales para una comunicación efectiva.
9. Comparar los resultados propios con antecedentes (literatura científica) es obligatorio para validar la investigación y situarla en el contexto del conocimiento actual.
10. Reconocer las limitaciones del estudio en la discusión no debilita la investigación, sino que demuestra honestidad intelectual y madurez científica.

⚡ Para recordar

✓ **Tablas** = Precisión | Gráficos = Tendencias.

✓ **Regla APA Tablas:** Título arriba | Sin líneas verticales | Notas abajo.

✓ **Regla Ingeniería:** ¡Nunca olvidar Unidades y Escalas!

✓ **Gráficos clave:** Línea (tiempo) | Barras (categorías) | Dispersión (relaciones) | Diagrama de caja (variabilidad).

✓ **Resultados vs Discusión.**

Resultados: "El valor fue X" (Dato objetivo).

Discusión: "El valor fue X debido a Y, lo cual coincide con Z" (Interpretación).

✓ **Discusión de estructura:** Hallazgo → Comparación → Explicación → Limitación.

✓ **Error común:** Repetir en texto todo lo que ya dice la tabla. Solo destaca lo importante.

✓ **Autosuficiencia:** La tabla/figura debe entenderse por sí sola sin leer el texto.

■ **Aplica lo aprendido**

Estos ejercicios te ayudarán a perfeccionar la presentación visual y argumentativa de tus datos.

Ejercicio 1: Diseño de tabla APA: Toma un conjunto de datos de tu investigación (o datos ficticios de tu tema) y diseña una tabla siguiendo normas APA: (a) Escribe el número y título descriptivo arriba. (b) Organice columnas con encabezados claros y unidades. (c) Eliminar los bordes verticales. (d) Agregue una nota al pie explicando abreviaturas o fuente.

Ejercicio 2: Selección de gráfico: Para cada situación, elija el mejor gráfico:

- (a) Mostrar cómo varía la temperatura cada minuto durante una hora: _____.
- (b) Comparar la resistencia de 3 tipos de concreto: _____.
- (c) Ver si existe relación entre velocidad y consumo de combustible: _____.
- (d) Analizar la variabilidad de pH en 50 muestras: _____.

Ejercicio 3: Redacción de Resultados (Objetivo): Redacta un párrafo presentando los resultados de uno de tus gráficos o tablas. *Regla:* Solo describe los datos más relevantes (picos, tendencias, promedios) sin intentar explicarlos o interpretarlos todavía.

Ejercicio 4: Redacción de Discusión (Interpretativo): Toma el mismo resultado del ejercicio anterior y redacta un párrafo de discusión. Incluye: (1) Significado del hallazgo. (2) Comparación con un antecedente (cita ficticia si es necesario). (3) Posible explicación técnica de por qué ocurrió.

Ejercicio 5: Checklist de errores: Revisa un gráfico o tabla que hayas hecho y verifica: (a) ¿Tiene título y número? (b) ¿Tiene unidades en los ejes/encabezados? (c) ¿Es legible? (d) ¿Se explica por sí solo? (e) ¿Evita duplicar información innecesariamente? Corrige lo que falle.

→ **Siguiente paso**

¡Excelente! Has aprendido tus datos con rigor profesional y discutirlos con profundidad científica. Tus tablas son limpias, tus gráficos comunican tendencias y tu discusión aporta valor al conocimiento.

Ahora que tienes el contenido de tu investigación completo y bien presentado, el siguiente paso es darle el formato final para su publicación o defensa. En el **Capítulo 18 - "Artículo Científico para Ingenieros"**, aprenderás a condensar tu tesis en un formato publicable.

Conocerás la estructura **IMRyD** (Introducción, Métodos, Resultados, Discusión), el estándar mundial para artículos científicos. Aprenderás a redactar un Resumen efectivo que capture lectores, a seleccionar Palabras Clave para indexación, ya escribir Conclusiones

directas. También entenderás el proceso de **revisión por pares** (peer review) y cómo responder a los revisores para lograr que tu trabajo sea publicado en revistas indexadas o congresos.

Prepárate para transformar tu tesis extensa en un artículo conciso y de alto impacto.



*¡Felicidades por completar el Capítulo 17!
Tus resultados ahora hablan por sí mismos. Es momento de aprender a difundirlos al
mundo científico.*

Capítulo 18

**Artículo científico
para ingenieros**

Artículo científico para ingenieros

El artículo científico es el principal medio de comunicación académica y profesional en el ámbito de la ingeniería. Permite difundir descubrimientos, innovaciones, análisis técnicos y resultados experimentales de manera clara, verificable y estandarizada. Su forma más común es la estructura **IMRyD**: Introducción, Métodos, Resultados y Discusión, reconocida internacionalmente para publicar en revistas indexadas (Day y Gastel, 2016).

Figura 15

Estructura del artículo científico.



18.1. Estructura IMRyD

La estructura **IMRyD** (por sus siglas en inglés: *Introduction, Methods, Results and Discussion*) es el formato universal para redactar artículos en ingeniería, ciencias aplicadas, tecnología y ciencias naturales (Hofmann, 2017).

I – Introducción

Incluye:

- Contexto general del problema.
- Revisión breve del estado del arte.
- Brecha del conocimiento o necesidad tecnológica.
- Objetivo del estudio.

Ejemplo ingenieril:

“A pesar del avance en sistemas de monitoreo acústico urbano, persisten limitaciones en costo y autonomía energética. Este estudio busca desarrollar y validar un sensor de bajo costo alimentado con energía solar.”

M – Métodos

Se describe **cómo** se realizó la investigación:

- Materiales y equipos.
- Procedimientos experimentales.
- Diseño del estudio
- Métodos estadísticos.
- Software utilizado (MATLAB, Python, LabVIEW, etc.).

Debe ser **reproducibile**, es decir, permitir que otro ingeniero repita el trabajo.

R – Resultados

Presenta los datos obtenidos, usualmente mediante:

- Tablas.
- Figuras.
- Gráficos de líneas, barras, dispersión, mapas térmicos, etc.

No incluye interpretación, solo evidencia objetiva.

D – Discusión

Interpreta los resultados:

- Explica qué significan.
- Compara con investigaciones previas.
- Identifica limitaciones.
- Propone mejoras y aplicaciones.

La Discusión puede integrarse con los Resultados en un único apartado “Resultados y Discusión” en revistas de ingeniería.

18.2. Resumen

El **resumen** es la sección más leída del artículo. Debe ser breve (150–250 palabras) y describir:

1. Problema o contexto.
2. Objetivo
3. Metodología.
4. Resultados principales (cuantificados).
5. Conclusión más relevante.

Ejemplo de resumen:

“Se desarrolló un prototipo de sensor acústico autónomo para monitoreo urbano basado en un módulo ESP32 y panel solar integrado. Se realizaron pruebas piloto de 30 días en tres puntos de una avenida en Iquitos, Perú. Los resultados muestran un error promedio de ± 1.8 dB respecto a un sonómetro clase 2. El sistema demostró estabilidad y

autonomía energética del 100%. Se concluye que la tecnología es viable como solución de bajo costo para gestión municipal del ruido ambiental.”

18.3. Palabras clave

Las **palabras clave** deben representar conceptos esenciales del estudio y facilitar su indexación.

Recomendaciones:

- Entre 4 y 6.
- Ordenadas de mayor a menor relevancia.
- Usar términos controlados cuando sea posible (IEEE Thesaurus, MeSH).

Ejemplo:

Ruido ambiental; sensores IoT; energía solar; ingeniería electrónica; monitoreo urbano.

18.4. Conclusiones

Las conclusiones deben:

- Ser breves y directas.
- Responder al objetivo del artículo.
- No repetir resultados textualmente.
- Incluir recomendaciones técnicas.
- Señalar futuras líneas de investigación.

Ejemplo ingenieril:

1. El sensor de ruido desarrollado obtuvo una precisión adecuada (± 1.8 dB) para aplicaciones urbanas.
2. La autonomía solar permitió funcionamiento continuo sin mantenimiento.
3. Se recomienda integrar transmisión LoRaWAN para ampliar cobertura.

18.5. Revisión por pares

La **revisión por pares** (peer review) es el proceso mediante el cual expertos evalúan la calidad científica, técnica y metodológica de un artículo antes de su publicación (Nicholas y Wainwright, 2020).

Tipos de revisión

- **Simple ciego:** El revisor conoce al autor; el autor no conoce al revisor.
- **Doble ciego:** Ninguna de las partes conoce la identidad de la otra.
- **Abierta:** Ambas partes conocen sus identidades.

Criterios evaluados

- Originalidad.
- Validez metodológica.
- Relevancia para la ingeniería.
- Adecuación de las referencias.
- Claridad y redacción técnica.

Cómo mejorar la aceptación del artículo

- Usar datos verificables.
- Redactar con precisión técnica.
- Evitar exagerar conclusiones.
- Citar adecuadamente.
- Responder con claridad a los revisores.

La revisión por pares garantiza que el conocimiento publicado sea confiable y técnicamente sólido.

Artículo científico para ingenieros

■ Resumen del capítulo

Este capítulo se enfocó en el artículo científico como el principal medio de comunicación académica y profesional en ingeniería, permitiendo difundir descubrimientos e innovaciones de manera estandarizada. Se presentó la estructura **IMRyD** (Introducción, Métodos, Resultados y Discusión) como el formato universal reconocido internacionalmente para publicaciones en ciencias aplicadas y tecnología. Se desglosó cada componente de la estructura IMRyD: la **Introducción** establece el contexto y la brecha de conocimiento; los **Métodos** describen procedimientos y materiales con tal detalle que garantizan la reproducibilidad; los **Resultados** presentan la evidencia objetiva (datos/tablas); y la **Discusión** interpreta esos hallazgos, comparándolos con estudios previos y señalando limitaciones. Se destacó la importancia del **Resumen (Abstract)** como la sección más leída, la cual debe sintetizar en 150-250 palabras el problema, objetivo, metodología, resultados principales y la conclusión más relevante. También se dieron pautas para seleccionar **Palabras clave** efectivas (4-6 términos) que facilitan la indexación, recomendando el uso de tesauros técnicos. Las **Conclusiones** deben ser breves, responder directamente al objetivo y no repetir los resultados textualmente ni incluir información nueva. Finalmente, se explicó el proceso de **Revisión por pares (Peer Review)**, donde expertos evalúan la originalidad y validez del trabajo. Se describieron los tipos de revisión (simple ciego, doble ciego, abierta) y se ofrecieron consejos para mejorar la aceptación del artículo, como usar datos verificables y responder con claridad a los revisores.

🔑 Conceptos clave

- **Artículo científico:** Medio principal de comunicación académica en ingeniería para difundir análisis técnicos, innovaciones y resultados experimentales de forma verificable.
- **Estructura IMRyD:** Formato estándar internacional compuesto por Introducción, Métodos, Resultados y Discusión.
- **Introducción:** Sección que presenta el contexto general, el estado del arte y el objetivo del estudio, justificando la necesidad de la investigación.
- **Métodos:** Sección técnica que describe materiales, equipos, diseño experimental y procedimientos con el fin de garantizar la reproducibilidad del estudio.
- **Reproducibilidad:** Capacidad de que otro ingeniero pueda repetir el experimento y obtener resultados similares basándose solo en la descripción de los métodos.
- **Resultados:** Presentación objetiva de los datos obtenidos (tablas, gráficos) sin incluir interpretaciones subjetivas.
- **Discusión:** Sección interpretativa donde se explica el significado de los resultados, se comparan con la literatura y se analizan las limitaciones.
- **Resumen (Abstract):** Síntesis breve (150-250 palabras) y completa del artículo, fundamental para que los lectores decidan si leer el texto completo.
- **Palabras clave:** Términos esenciales (4-6) que representan los conceptos del estudio y facilitan su búsqueda en bases de datos; Se recomienda usar términos controlados (tesauros).
- **Conclusiones:** Cierre del artículo que responde directamente a los objetivos planteados y sugiere técnicas o futuras líneas de investigación.
- **Revisión por pares (Peer Review):** Proceso de evaluación de calidad realizado por expertos externos antes de la publicación.
- **Doble ciego:** Tipo de revisión donde ni el autor ni el revisor conocen la identidad del otro, reduciendo sesgos.

💡 Ideas principales

1. El artículo científico estandariza la difusión del conocimiento, permitiendo que ingenieros de todo el mundo compartan y verifiquen avances tecnológicos.
2. La estructura IMRyD no es caprichosa; sigue la lógica del pensamiento científico: Qué se estudió (I), Cómo se hizo (M), Qué se encontró (R) y Qué significa (D).
3. La sección de Métodos es crítica en ingeniería; si el procedimiento no es reproducible, el estudio carece de validez científica.
4. En muchas revistas de ingeniería, las secciones de Resultados y Discusión pueden integrarse para facilitar la lectura técnica.
5. El Resumen actúa como la "vitrina" del artículo; debe contener los 5 elementos clave (problema, objetivo, método, resultado, conclusión) para ser efectivo.
6. Las palabras clave no deben elegirse al azar; deben ordenarse por relevancia y preferiblemente provenir de vocabularios controlados (como IEEE Thesaurus).
7. Las conclusiones en un artículo difieren de las de una tesis en su brevedad; van directo al grano sobre el cumplimiento del objetivo y la recomendación técnica.
8. La revisión por pares es el filtro de calidad de la ciencia; entender sus criterios (originalidad, validez, claridad) ayuda a redactar mejores manuscritos.
9. Responder a los revisores requiere diplomacia y claridad técnica; aceptar las críticas constructivas mejora significativamente la versión final del artículo.

↪ Para recordar

- ✓ **IMRyD**: Introducción | Métodos | Resultados | Discusión.
- ✓ **Resumen**: Lo más leído. 150-250 palabras. Estructura mini-IMRyD.
- ✓ **Métodos**: Clave = Reproducibilidad.
- ✓ **Resultados**: Evidencia objetiva. Discusión: Interpretación.
- ✓ **Palabras clave**: 4-6 términos para indexación.
- ✓ **Conclusiones**: Breves, directas, sin repetir datos.
- ✓ **Revisión por Pares**: El control de calidad de la ciencia.
- ✓ **Tipos revisión**: Simple ciego | Doble ciego | Abierta.

■ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te guiarán en el desarrollo, implementación y validación de un modelo completo para tu sistema de estudio. Aplicarás los principios de modelamiento, simularás comportamiento y validarás resultados contra datos reales.

Estos ejercicios te ayudarán a condensar tu investigación en el formato de un artículo científico.

Ejercicio 1: Estructura del resumen: Redacta el resumen de tu artículo (150-250 palabras) asegurando que incluya una frase para cada punto:

1. **Problema:**

2. **Objetivo:**

3. **Metodología:**

4. **Resultados (con datos):**

5. **Conclusión:**

Ejercicio 2: Selección de palabras clave: Elige 5 palabras clave para tu artículo. Intenta que vayan de lo general a lo específico.

1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____ 5. _____

Ejercicio 3: CHECKLIST DE MÉTODOS: Revisa tu sección de métodos. ¿Podría otro ingeniero repetir tu trabajo solo leyendo esto? Verifica si incluiste:

- Especificaciones de equipos/materiales.
- Procedimiento paso a paso.
- Diseño experimental/estadístico.
- Software y versiones usadas.

Ejercicio 4: Redacción de conclusiones: Escribe 3 conclusiones para tu artículo.

- **Conclusión 1 (hallazgo principal):**

- **Conclusión 2 (Implicancia técnica):**

- **Conclusión 3 (Recomendación futura):**

Ejercicio 5: Simulación de respuesta a revisor: Imagina que un revisor te dice: "*La metodología no explica claramente cómo se calibraron los sensores*". Escribe una respuesta formal explicando que agregarás esa información (cita la norma o procedimiento).

- **Respuesta:**

→ **Siguiente paso**

¡Excelente! Has transformado tu investigación extensa en un artículo científico conciso y estructurado, listo para ser enviado a una revista o congreso. Dominar la redacción científica es clave para tu visibilidad profesional.

Ahora llegamos al momento cumbre: la defensa oral de tu trabajo. En el **Capítulo 19 - "Sustentación Oral del Proyecto o Tesis"**, aprenderás a presentar tu investigación ante un jurado o audiencia experta.

Descubrirás cómo diseñar diapositivas efectivas (poco texto, más diagramas), cómo elaborar un guion de presentación para no improvisar, y estrategias para responder preguntas difíciles con seguridad (técnica RPT: Respuesta-Prueba-Transición). También verás técnicas de control físico y emocional para hablar con autoridad y profesionalismo.

Prepárate para defender tu ingeniería con el mismo rigor con el que la investigaste.



¡Felicidades por completar el Capítulo 18! Tu capacidad para comunicar ciencia por escrito ha subido de nivel. Ahora, vamos a prepararnos para hablar en público.

Capítulo 19

**Sustentación
oral del proyecto
o tesis**

Sustentación oral del proyecto o tesis

La sustentación oral es el momento en el que el investigador demuestra dominio del proyecto, claridad metodológica y capacidad para comunicar sus resultados. Para un ingeniero, esto es equivalente a presentar un diseño, una solución técnica o un prototipo ante un comité de expertos. Por ello, la estructura, el lenguaje técnico y la seguridad comunicativa son claves (Alley, 2013).

A continuación, se desarrollan las pautas esenciales para construir una presentación eficaz, responder preguntas con solvencia y comunicar con seguridad científica y profesional.

Figura 16

Esquema para sustentación de tesis.



19.1. Cómo construir diapositivas efectivas

La calidad visual de las diapositivas influye directamente en la comprensión del jurado. Según Reynolds (2012), una diapositiva eficaz es visual, directa y mínimamente cargada de texto.

Principios fundamentales

1. Poco texto

- 6 líneas como máximo por diapositiva.
- Ideas clave, no párrafos.

2. Claridad visual

- Diagramas → mejor que texto.
- Gráficos → mejor que tablas extensas.
- Fotos → cuando aportan evidencia o contexto.

3. Jerarquía visual

- Títulos grandes.
- Subtítulos claros.
- Colores sobrios (azul, gris, negro).

4. Coherencia

- Mismo estilo en todas las diapositivas.
- Íconos y colores consistentes.

Estructura recomendada para una sustentación de tesis en ingeniería

1. Portada (título, autor, asesor, universidad y año).
2. Problema de investigación.
3. Objetivos.
4. Hipótesis y variables (si aplica)
5. Marco teórico resumido.

6. Metodología.
7. Resultados
8. Discusión.
9. Conclusiones.
10. Recomendaciones.
11. Agradecimientos.

Errores comunes en diapositivas

- Leer el contenido textual.
- Colocar tablas pequeñas e ilegibles.
- Usar demasiados colores.
- No respetar márgenes y alineaciones.
- Utilizar fondos recargados.

19.2. Guion de presentación

El guion permite estructurar cada parte del discurso para evitar improvisaciones innecesarias y mantener un hilo lógico (Zelazny, 2010).

Guion sugerido para una sustentación de 15–20 minutos:

1. Saludo y presentación (30–40 segundos)

- Buenas tardes, señores miembros del jurado.
- Mi nombre es... Hoy presentaré mi tesis titulada...

2. Problema de investigación (1–2 minutos)

- Explicar el contexto.
- Justificar por qué es importante.
- Exponer el problema central en una frase clara.

3. Objetivos (1 minuto)

- Objetivo general.
- Objetivos específicos.

4. Hipótesis y variables (opcional según enfoque) (1 minuto)

- Hipótesis principal.
- Variables operacionales.

5. Metodología (3–4 minutos)

- Tipo y diseño de investigación.
- Población y muestra.
- Instrumentos.
- Procedimientos.
- Software utilizado.

6. Resultados (4–5 minutos)

- Presentación gráfica.
- Comparaciones claras
- Hallazgos clave.

7. Discusión (2–3 minutos)

- Conexión entre hallazgos y teoría.
- Aportes técnicos.

8. Conclusiones (1–2 minutos)

- Resumen de lo esencial.
- Correspondencia con objetivos.

9. Recomendaciones (1 minuto)

- Qué debe hacerse después del estudio.

10. Cierre (30 segundos)

- Agradecimiento.
- Disponibilidad para responder preguntas.

19.3. Cómo responder preguntas del jurado

Responder preguntas con claridad es una evidencia de dominio del tema (Lucas, 2015).

Estrategias efectivas

1. Escuchar antes de responder

No interrumpas. Toma una respiración antes de contestar.

2. Responder directo y breve

20–30 segundos por respuesta, salvo que el jurado pida más.

3. Apoyarse en evidencia técnica

- Gráficos.
- Cálculos.
- Normativas.
- Bibliografía científica.

4. Reconocer límites de la investigación

Decir “no fue incluido en el alcance del estudio” es mejor que inventar.

5. Utilizar la estructura RPT (Respuesta–Prueba–Transición)

Ejemplo:

- Respuesta: “Sí hubo mejora en la eficiencia energética”.
- Prueba: “El consumo bajó un 12%, según la Tabla 5”.
- Transición: “Esto confirma lo planteado en la hipótesis”.

6. Si no sabes algo

- “Esa es una excelente pregunta. No la incluí en este estudio, pero se relaciona con...”.
- “Se requiere un análisis adicional que podría explorarse en futuras investigaciones.”.

19.4. Técnicas para hablar con seguridad

Hablar bien no es un talento; es una técnica entrenable. La literatura en comunicación científica muestra que la seguridad oral depende de tres factores: control físico, claridad cognitiva y, manejo emocional (Bradbury, 2016).

1. Control físico

- Mantener postura recta.
- Mirar al jurado, no a la pantalla.
- Evitar movimientos innecesarios.

2. Claridad cognitiva

- Ensayar el guion.
- Tener “palabras clave” memorizadas.
- Usar conectores: “en consecuencia”, “por lo tanto”, “como resultado”.

3. Manejo emocional

- Respiración diafragmática antes de hablar.
- Usar pausas estratégicas.
- Evitar disculparse por nervios (“disculpen, estoy nervioso”).

4. Ensayo técnico

- Practicar con cronómetro.
- Verificar correcto funcionamiento del puntero, laptop y proyector.
- Ensayar la explicación de los gráficos complejos.

5. Estrategia de cierre

El final debe dejar una impresión profesional:

- “Este trabajo aporta evidencia técnica para...”.
- “La metodología aplicada puede replicarse en...”.
- “Gracias por su atención”.

Sustentación oral del proyecto o tesis

■ Resumen del capítulo

Este capítulo abordó la etapa final del proceso de investigación: la defensa oral ante un jurado. Se definió la sustentación como el momento en que el investigador demuestra dominio del proyecto, claridad metodológica y capacidad de comunicación, equivalente para un ingeniero a presentar un diseño o solución técnica ante expertos. Se ofrecieron pautas para construir **diapositivas efectivas**. Según Reynolds (2012), deben ser visuales, directas y con poco texto. Se formularon cuatro principios fundamentales: (1) poco texto (máximo 6 líneas); (2) claridad visual (diagramas mejor que texto); (3) jerarquía visual (títulos grandes, colores sobrios) y (4) coherencia de estilo. Se recomendó una estructura de presentación de 11 puntos, desde la portada hasta los agradecimientos, y se listaron errores comunes como leer el contenido o usar tablas ilegibles. Se presentó un **guion de presentación** sugerido para una defensa de 15-20 minutos, estructurando el tiempo para cada sección: saludo (30s); problema (1-2 min); objetivos (1 min); metodología (3-4 min); resultados (4-5 min, la parte más extensa); discusión (2-3 min), conclusiones (1-2 min) y cierre. Se explicaron estrategias para **responder preguntas del jurado**, señalando que la claridad en las respuestas evidencia dominio. Las estrategias incluyen escuchar sin interrumpir, responder brevemente (20-30s), apoyarse en evidencia técnica (gráficos, cálculos), reconocer límites honestamente ("no fue incluido en el alcance") y usar la estructura RPT (Respuesta-Prueba-Transición). Finalmente, se abordaron **técnicas para hablar con seguridad** basadas en tres factores: control físico (postura recta, contacto visual), claridad cognitiva (ensayar el guion, memorizar palabras clave) y manejo emocional (respiración, pausas). Se enfatizó la importancia del ensayo con cronómetro y verificación técnica de equipos.

🔑 Conceptos clave

- **Sustentación oral:** Acto académico de defensa pública de la tesis donde se evalúa el dominio del tema, la calidad de la investigación y las habilidades comunicativas del ingeniero.
- **Diapositiva efectiva:** Recurso visual de apoyo que refuerza el discurso sin sustituirlo, caracterizado por ser visual, directo, jerarquizado y con carga de texto mínima.
- **Jerarquía visual:** Organización de elementos en la diapositiva que guía el ojo del espectador hacia lo más importante mediante tamaños, colores y posiciones.
- **Guion de presentación:** Estructura planificada del discurso que asigna tiempos específicos a cada sección para evitar improvisaciones y asegurar que se cubran todos los puntos clave.
- **Estructura RPT (Respuesta-Prueba-Transición):** Técnica retórica para responder preguntas de manera sólida: dar la respuesta directa, sustentarla con evidencia del estudio y conectar con el siguiente punto o conclusión.
- **Evidencia técnica:** Datos, gráficos, normas, cálculos o citas bibliográficas utilizadas para respaldar afirmaciones y respuestas ante cuestionamientos del jurado.
- **Control físico:** Manejo consciente del cuerpo durante la exposición, incluyendo postura, gestos y contacto visual, para proyectar seguridad y profesionalismo.
- **Manejo emocional:** Técnicas para controlar la ansiedad y los nervios, como la respiración diafragmática y el uso de pausas estratégicas.
- **Ensayo técnico:** Práctica de la presentación simulando condiciones reales (uso de proyector, tiempo cronometrado, explicación de gráficos complejos) para detectar fallas.

🔑 Ideas principales

1. La sustentación no es un ejercicio de lectura, sino una validación de competencias profesionales donde el fondo y la forma poseen el mismo valor estratégico.
2. Las diapositivas no son para que el ponente lea, sino para que el público visualice; una diapositiva llena de texto es un error comunicacional grave.
3. En ingeniería, los diagramas, esquemas y gráficos tienen mucho más valor comunicativo que los párrafos de texto; "mostrar" es mejor que "decir".
4. El tiempo es el recurso más crítico en la sustentación; un guion cronometrado evita que el ponente se quede sin tiempo para presentar sus resultados, que son lo más importante.
5. La sección de Resultados debe ocupar la mayor parte del tiempo (aprox. 25-30%), ya que es la contribución original del ingeniero.

6. Responder preguntas no es un examen de memoria, sino de criterio ingenieril; es válido tomarse un momento para pensar y es mejor admitir una limitación que inventar una respuesta.
7. La técnica RPT (Respuesta-Prueba-Transición) estructura las respuestas para que suenen contundentes y fundamentadas, evitando divagaciones.
8. La seguridad al hablar se entrena; no es un talento innato. El ensayo repetido, especialmente de las partes complejas, reduce extensamente los nervios.
9. El contacto visual debe ser con el jurado y el público, no con la pantalla o el suelo; esto establece conexión y demuestra seguridad.
10. Un buen cierre es tan importante como una buena apertura; debe dejar una impresión de profesionalismo y aporte técnico.

⚡ Para recordar

- ✓ **Diapositivas:** Poco texto (6 líneas máx) | Más gráficos/diagramas | Coherencia visual.
- ✓ **Error común:** Leer las diapositivas o llenarlas de tablas ilegibles.
- ✓ **Guion (15-20 min):** Intro rápida → Métodos claros → Resultados (foco principal) → Conclusiones.
- ✓ **Preguntas:** Escuchar primero → Responder breve → Usar evidencia técnica.
- ✓ **Técnica RPT:** Respuesta (Directa) + Prueba (Dato/Tabla) + Transición (Conclusión).
- ✓ **Seguridad:** Postura recta + Contacto visual + Respiración + Ensayo.
- ✓ **Si no sabes:** Admítelo profesionalmente ("No estuvo en el alcance, pero se relaciona con...").

☛ Aplica lo aprendido

Estos ejercicios te ayudarán a preparar la defensa oral de tu trabajo.

Ejercicio 1: Esquema de diapositivas: Planifica tus diapositivas. Para cada una, define el título y qué elemento visual (gráfico, foto, diagrama) usarás. *Regla:* No puedes planear más de 15 diapositivas en total.

- Diapo 1: Portada.
- Diapo 2: Problema (Gráfico de...).
- Diapo 3:
- Diapo 15: Cierre.

Ejercicio 2: Elaboración del guion (Minuto a minuto): Escribe el guion de tu presentación asignando tiempos reales.

- **0:00 - 0:40:** Saludo y título. "Buenas tardes...".
- **0:40 - 2:00:** Problema. "El problema principal es...".
- **2:00 - 3:00:** Objetivos. "Nuestro objetivo fue...".
- ... (continúa hasta el cierre).

Ejercicio 3: Simulación de preguntas difíciles: Escribe 3 preguntas difíciles que crees que el jurado podría hacerte sobre las debilidades de tu tesis. Luego, redacta la respuesta usando la técnica RPT para cada una.

- **Pregunta 1:**

- **Respuesta RPT:**

Ejercicio 4: Ensayo de explicación de gráfico: Elige el gráfico más complejo de tus resultados. Escribe exactamente qué dirás para explicarlo en 45 segundos (qué son los ejes, qué significan las líneas/barras, cuál es el hallazgo).

→ **Siguiente paso**

¡Felicidades! Ha completado todo el recorrido. Desde la concepción de la idea y la formulación del problema, pasando por el diseño metodológico y el análisis de datos, hasta la redacción del informe y la preparación de tu defensa oral.

Tienes ahora todas las herramientas metodológicas para realizar investigaciones de ingeniería rigurosas, innovadoras y de alto impacto. Recuerda los consejos finales del autor: la investigación no es un acto burocrático, es la forma en que los ingenieros creamos nuevo conocimiento para resolver problemas reales.

¡Mucho éxito en tu sustentación y en tu carrera como ingeniero investigador!



*¡Hemos terminado el resumen de todos los capítulos del libro!
Espero que este material sea de gran utilidad para ti y tus estudiantes.*

Características especiales del libro

Ejemplos completos por cada Ingenierías

🔗 1. Ingeniería Química

Tema: *Cinética de reacción en un reactor batch para optimizar el rendimiento.*

Variables:

- **Independiente:** Temperatura.
- **Dependiente:** Velocidad de reacción.
- **Controladas:** Concentración inicial, volumen, presión.

Problema general:

¿Cómo influye la temperatura en la velocidad de reacción para optimizar el rendimiento del reactor batch en el proceso X?

Objetivo general:

Determinar el efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción para optimizar el rendimiento del reactor batch.

Métodos:

- Experimentos controlados.
- Ajuste de modelos cinéticos (Arrhenius, pseudo-primer orden).
- DOE factorial.
- Simulación en MATLAB / Aspen Plus.

Aplicación práctica:

Permite reducir costos energéticos, aumentar conversión y mejorar la eficiencia operativa en plantas químicas.

✿ 2. Ingeniería Ambiental

Tema: *Evaluación de la calidad ambiental (ruido – agua – aire – residuos)*

Variables:

- Ruido: dB(A).
- Agua: pH, turbidez, metales pesados.
- Aire: PM2.5, CO, NO₂.
- Residuos: generación per cápita, composición.

Problema general:

¿Qué niveles de impacto generan los factores ambientales (ruido, calidad de agua, aire y residuos sólidos) en la población de la zona X?

Objetivo general:

Evaluar el impacto de los principales componentes ambientales sobre la salud y bienestar de los habitantes de la zona X.

Métodos:

- Muestreo probabilístico del aire y agua.
- Medición con sonómetros clase 1.
- Análisis de laboratorio siguiendo APHA/ISO.
- Modelos de dispersión (Turner, AERMOD).

Aplicación práctica:

Genera planes de mitigación, vigilancia ambiental y reportes para OEFA, ANA, municipalidades.

Fig. 3. Ingeniería Civil

Tema: *Comportamiento mecánico de materiales y análisis estructural*

Variables:

- Resistencia a compresión.
- Módulo de elasticidad.
- Densidad del suelo.
- Límites de Atterberg.

Problema general:

¿Cómo influyen las propiedades del material X en la capacidad estructural del elemento constructivo Y?

Objetivo general:

Evaluar las propiedades físico–mecánicas del material X para determinar su aptitud en estructuras del tipo Y.

Métodos:

- Ensayos de laboratorio (ASTM, Cemento, Concreto).
- Diseño estructural con SAP2000 / ETABS.
- Pruebas de carga.
- Modelamiento de suelos con PLAXIS.

Aplicación práctica:

Permite diseñar estructuras seguras, estimar cargas y optimizar costos en obras civiles.

4. Ingeniería Industrial

Tema: *Optimización de procesos y logística*

Variables:

- Tiempos de proceso.
- Capacidad instalada.
- Tiempo de ciclo.
- Costos logísticos.

Problema general:

¿Cómo mejorar el proceso productivo de la planta X para reducir tiempos, costos y aumentar eficiencia?

Objetivo general:

Optimizar el proceso productivo mediante el análisis de tiempos, modelamiento de flujo y evaluación logística.

Métodos:

- Diagrama SIPOC.
- Layout y estudio de métodos.
- Simulación en FlexSim / Arena.
- Optimización (Programación lineal).
- Indicadores KPIs.

Aplicación práctica:

Reduce desperdicios, mejora productividad y soporta decisiones estratégicas en manufactura y servicios.

Casos de estudio reales

(Capítulo especial)

Casos de estudio reales en Ingeniería.

Este capítulo tiene como propósito mostrar cómo se aplica la metodología científica en investigaciones reales dentro de diversas ramas de la ingeniería. Cada caso sigue la estructura metodológica estándar:

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación del problema.
3. Objetivos.
4. Hipótesis.
5. Variables.
6. Metodología.
7. Resultados.
8. Conclusiones.

CASO 1 – INGENIERÍA AMBIENTAL

Evaluación de la eficacia de barreras verdes para reducir el ruido vehicular en una avenida urbana.

1. Planteamiento del problema

En la Av. Las Palmeras (ciudad ficticia), el tránsito vehicular ha incrementado los niveles de ruido por encima de 75 dB, afectando a viviendas cercanas. El municipio instaló una barrera verde, pero no se ha evaluado científicamente su efectividad.

2. Formulación del problema

¿En qué medida las barreras verdes reducen los niveles de ruido ambiental en la Avenida las Palmeras durante el 2024?

3. Objetivo general

Evaluar la eficacia de las barreras verdes en la reducción del ruido vehicular.

4. Objetivos específicos

- Medir los niveles de ruido antes y después de la barrera.
- Comparar los valores obtenidos con estándares de la OMS.
- Determinar el porcentaje de reducción generado por la barrera.

5. Hipótesis

H1: La barrera verde reduce significativamente los niveles de ruido vehicular en al menos 5 dB(A).

6. Variables

- **Independiente:** presencia de barrera verde.
- **Dependiente:** nivel de ruido (dB).
- **Indicador:** promedio horario dB(A).

7. Metodología

- Diseño: cuasi experimental.
- Instrumento: sonómetro clase 1.
- Puntos de medición: 10 antes y 10 después de la barrera.
- Periodo: 7 días.

8. Resultados (datos simulados)

Tabla 8

Se muestran los resultados del estudio en ingeniería ambiental.

Punto	Antes (dB)	Después (dB)
1	78	70
2	76	68
3	80	72
Promedio	78	70

Reducción promedio: 8 dB(A)

9. Conclusiones

- La barrera verde demostró ser eficaz, con una reducción promedio mayor a la esperada (8 dB).
- Cumple con estándares ambientales recomendados.
- Se recomienda replicar el modelo en otras zonas similares.

CASO 2 – INGENIERÍA QUÍMICA

Optimización de la conversión en un reactor batch mediante análisis cinético.

1. Planteamiento del problema

Una planta química produce un polímero usando un reactor batch cuya conversión actual es del 68%. La gerencia busca aumentarla sin incrementar costos energéticos.

2. Formulación del problema

¿Cómo influye la temperatura y el catalizador en la conversión del reactor batch en la línea de producción?

3. Objetivo general

Optimizar la conversión del reactor batch mediante análisis de cinética química.

4. Objetivos específicos

- Determinar la ecuación cinética del proceso.
- Evaluar la influencia del catalizador.
- Identificar las condiciones óptimas de operación.

5. Hipótesis

H1: El uso de catalizador X aumenta la conversión en al menos 10%.

6. Variables

- Independientes: temperatura (°C), concentración de catalizador (g/L).
- Dependiente: conversión (%).

7. Metodología

- Diseño factorial 2².
- Software: Python y MATLAB.
- Ensayos simulados.

8. Resultados (datos simulados)

Tabla 9

Resultado del estudio en Ingeniería Química.

Ensayo	Temp (°C)	Cat (g/L)	Conversión (%)
1	60	0	67
2	60	1	74
3	80	0	70
4	80	1	82

La temperatura y el catalizador influyen significativamente (ANOVA $p < 0.05$).

9. Conclusiones

- El catalizador incrementa la conversión en 7–12%.
- Las mejores condiciones son **80 °C** y **1 g/L** de catalizador.
- Se puede escalar a nivel industrial.

CASO 3 – INGENIERÍA INDUSTRIAL

Mejoramiento del proceso logístico en un almacén mediante el método ABC.

1. Planteamiento del problema

El almacén de la empresa LOGIPERU S.A. presenta retrasos en picking y mala distribución de productos, generando pérdidas.

2. Formulación del problema

¿Cómo mejora la clasificación ABC la eficiencia del picking en el almacén de LOGIPERU S.A. en 2024?

3. Objetivo general

Mejorar el tiempo de picking aplicando el método ABC.

4. Objetivos específicos

- Clasificar los productos según su rotación.
- Reorganizar la ubicación de productos de alta rotación.
- Evaluar la mejora del tiempo de picking.

5. Hipótesis

H1: La aplicación del método ABC reduce el tiempo de picking en al menos 20%.

6. Variables

- Independiente: método ABC.
- Dependiente: tiempo de picking (min).

7. Metodología

- Tipo: aplicada.
- Diseño: pre-test / post-test.
- Muestra: 50 pedidos antes y después.

8. Resultados (datos simulados)

- **Antes ABC:** 18.5 min promedio.
- **Después ABC:** 13.2 min promedio.
- **Mejora:** 28.6%.

9. Conclusiones

- El método ABC mejoró significativamente el tiempo de picking.
- La rotación “A” al frente del almacén optimizó desplazamientos.
- Se recomienda mantener monitoreo mensual.

CASO 4: INGENIERÍA QUÍMICA

Optimización de un proceso de secado

1. Planteamiento del problema

Una planta de alimentos reporta alto consumo energético en su secador rotatorio. Se desconoce qué combinación de **temperatura, flujo de aire y velocidad de rotación** minimiza el consumo sin afectar la humedad final del producto.

2. Objetivo

Optimizar los parámetros operativos del secador para reducir el consumo energético en al menos un 15 %.

3. Variables

- **Independientes:** temperatura (°C), flujo de aire (m³/h), velocidad (rpm).
- **Dependiente:** humedad final (%).
- **Control:** tipo de producto, masa alimentada.

4. Método

DOE factorial 3×3, 27 corridas experimentales.

5. Resultados simulados

- Mejor condición: **75 °C – 1800 m³/h – 8 rpm.**
- Humedad final: **4.8 %.**
- Reducción energética: **18.6 %.**

6. Conclusión

La combinación óptima reduce significativamente el consumo energético sin afectar la calidad del producto.

CASO 5: INGENIERÍA AMBIENTAL

Evaluación de barrera verde contra ruido urbano

1. Planteamiento del problema

Una avenida principal supera los **70 dB(A)** en horarios punta. La municipalidad instalará una barrera verde y necesita evidencias de su eficacia.

2. Objetivo

Evaluar cuánto reduce el nivel de ruido una barrera de **ficus + bambú** de 4 metros de altura.

3. Metodología

- 10 puntos de monitoreo.
- 3 horarios.
- Equipos clase 1 – IEC 61672.
- Comparación antes/después.

4. Resultados simulados

- Promedio antes: **72.3 dB(A)**.
- Promedio después: **64.1 dB(A)**.
- **Reducción:** 8.2 dB(A).

5. Conclusión

La barrera verde supera la reducción esperada (5 dB) y es una solución costo-efectiva.

CASO 6: INGENIERÍA CIVIL

Estudio de resistencia de concreto con adición puzolánica

1. Problema

Las obras municipales buscan alternativas más económicas y sostenibles para reemplazar parcialmente el cemento en el concreto.

2. Objetivo

Determinar si la sustitución del 20% de cemento por ceniza volante mantiene la resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

3. Método

- 30 probetas.
- Ensayo a 7, 14 y 28 días.
- Norma ASTM C39.

4. Datos simulados (28 días)

- Concreto convencional: **215 kg/cm²**.
- Con 20 % ceniza volante: **207 kg/cm²**.

5. Conclusión

La resistencia se reduce solo 3.7 %, dentro del margen aceptable. La alternativa es viable técnica y económicamente.

CASO 7: INGENIERÍA INDUSTRIAL

Simulación de una línea de producción

1. Problema

Una planta embotelladora tiene tiempos muertos excesivos en la línea de llenado.

2. Objetivo

Modelar el proceso y proponer mejoras que aumenten la productividad al menos en un 10 %.

3. Método

- Simulación en FlexSim / Arena.
- Datos recolectados: tiempos promedio
- Análisis de cuellos de botella.

4. Resultados simulados

- Estado actual: 450 cajas/h.
- Optimización: 505 cajas/h.
- **Incremento:** 12.2 %.

5. Conclusión

El cuello de botella principal era la banda transportadora. Incrementar velocidad + redistribuir operarios resolvió el problema.

CASO 8 – INGENIERÍA ELÉCTRICA

Optimización del consumo energético en un edificio universitario

1. Planteamiento del problema

El edificio de la Facultad de Ingeniería presenta un consumo energético mensual elevado ($\approx 12\ 500$ kWh/mes), especialmente en iluminación y climatización. No se han implementado estrategias de eficiencia energética.

Problema general:

¿Cómo optimizar el consumo energético en el edificio de Ingeniería para reducir los costos y aumentar la eficiencia?

2. Objetivos

General:

Optimizar el consumo energético del edificio mediante el análisis de cargas y propuesta de mejoras.

Específicos:

- Evaluar el perfil de consumo actual.
- Identificar equipos de mayor demanda.
- Proponer una solución técnica (LED, sensores, paneles solares).
- Estimar la reducción porcentual obtenida.

3. Hipótesis

La implementación de iluminación LED y sensores reducirá el consumo en al menos un 25%.

4. Metodología

- Medición de cargas con analizador Fluke 1730.
- Registro 7 días continuos.
- Priorización de cargas según demanda.
- Modelado en HOMER Pro para simular paneles solares.

5. Resultados (simulados)

- Perfil base: 12 500 kWh/mes.
- Sustitución por LED reduce 2 200 kWh/mes.
- Sensores reducen 850 kWh/mes.
- 15 kWp fotovoltaicos reducen 3 100 kWh/mes.

Consumo final estimado: 6 350 kWh/mes (*reducción: 49%*).

6. Conclusiones

La instalación combinada de LED + sensores + paneles solares permite reducir casi la mitad del consumo energético mensual, con un retorno de inversión de 3.2 años.

CASO 9 – INGENIERÍA MECÁNICA

Análisis de vibraciones de un motor industrial para mantenimiento predictivo

1. Planteamiento del problema

Una planta industrial reporta fallas recurrentes en el motor principal de 75 HP. Se sospecha desbalanceo o falla en rodamientos.

Problema general:

¿Cómo determinar la causa de las vibraciones excesivas del motor para prevenir fallas mayores?

2. Objetivos

General:

Diagnosticar el origen de las vibraciones mediante análisis espectral.

Específicos:

- Medir vibraciones en los tres ejes.
- Realizar análisis FFT.
- Comparar con ISO 10816.
- Proponer mantenimiento correctivo.

3. Hipótesis

Las vibraciones son causadas por desalineación angular entre el motor y la bomba.

4. Metodología

- Uso de acelerómetro triaxial.
- 30 mediciones a diferentes cargas.

- Software: SKF Analyst.

5. Resultados (reales simulados)

- Frecuencias dominantes: $1\times\text{RPM}$ y $2\times\text{RPM}$.
- Nivel medido: 7.2 mm/s (ISO 10816 → zona “C”: inaceptable).
- Alineación verificada: 2.8 mm de desfase angular.
- Rodamientos sin daño.

6. Conclusiones

El origen principal de la vibración fue desalineación. Tras el alineamiento con láser, las vibraciones bajaron a 1.4 mm/s (zona A: aceptable).

CASO 10 – INGENIERÍA DE SISTEMAS

Predicción de matrícula universitaria mediante Machine Learning

1. Planteamiento del problema

La UNAP desea prever el número de estudiantes matriculados para dimensionar aulas y recursos.

Problema general:

¿Cómo predecir la matrícula anual usando modelos de aprendizaje automático?

2. Objetivos

General:

Desarrollar un modelo predictivo para estimar la matrícula de pregrado.

Específicos:

- Construir base histórica 15 años.
- Entrenar modelos (ARIMA, Random Forest, Redes Neuronales).
- Seleccionar el mejor modelo según RMSE.
- Validar con datos reales del último año.

3. Hipótesis

Las redes neuronales alcanzan menor error que ARIMA para series no lineales.

4. Metodología

- Dataset de 2005–2020.
- Pruebas con Python (TensorFlow, Scikit-learn).
- División 80/20.

5. Resultados (simulados)

Tabla 10

Resultado del estudio en Ingeniería de sistemas.

Modelo	RMSE
ARIMA	118
Random Forest	94
Red neuronal LSTM	52

Nota. Predicción para el año siguiente: **755 estudiantes** (error real: 4.8%).

6. Conclusiones

La LSTM fue el modelo más eficiente. Su implementación puede mejorar la planificación académica.

CASO 11 – INGENIERÍA DE MINAS

Evaluación del nivel de polvo respirable en una zona de voladura

1. Planteamiento del problema

Las operaciones de voladura generan polvo respirable que puede superar límites permisibles.

Problema general:

¿Cómo evaluar el nivel de polvo respirable durante las actividades de voladura para garantizar seguridad ocupacional?

2. Objetivos

General:

Medir y comparar concentraciones de polvo respirable con la normativa MSHA/OSHA.

Específicos:

- Instalar medidores personales.
- Registrar concentraciones antes, durante y después.
- Identificar picos críticos.
- Proponer controles (nebulización, barreras, EPP).

3. Hipótesis

Las concentraciones durante la voladura superan los 5 mg/m³ recomendados.

4. Metodología

- Equipos: DustTrak II.
- 12 mediciones por jornada.
- Análisis estadístico: promedio, máximos y percentiles.

5. Resultados (simulados)

- Promedio: 6.8 mg/m³.
- Máximo: 14 mg/m³.
- Percentil 95: 10 mg/m³.
- Excede límites.

6. Conclusiones

Se requieren medidas de mitigación urgentes: nebulizadores, ventilación forzada y uso obligatorio de respiradores P100.

Banco de herramientas para ingenieros

Guía práctica de software, aplicaciones y recursos esenciales para desarrollar investigación científica y proyectos ingenieriles.

El objetivo de esta sección es brindar a los estudiantes y profesionales una **lista seleccionada de herramientas** que pueden usar para analizar datos, simular procesos, diseñar prototipos, modelar sistemas y elaborar informes. Esta sección agrega **alto valor práctico**, porque dirige al estudiante a soluciones tecnológicas reales usadas actualmente en el sector académico e industrial.

Figura 16

Banco de herramientas para ingeniería en investigación.

BANCO DE HERRAMIENTAS PARA INGENIEROS

SOFTWARE PARA ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS DE DATOS

- Minitab**
Ideal para DOE, control estadístico de procesos, ANOVA
- R**
Excelente para estadística y visualización
- Excel**
Icon Solver y Data Analysis Toolpak
- Python (Anaconda, Jupyter)**
Gratuito y extremadamente potente. Gratuito cace de Matplotlib, Pandas, NumPy, SciPy, Matplotlib, Seaborn, Statsmodels
- Arena Simulation**
Simulación de proceso discreta
- Matiab**
Matrices, señas, tasa, alumnos, dinamicos, control

SOFTWARE PARA SIMULACIÓN Y MODELAMIENTO

- ANSYS**
Simulación estructural, termica, fluido y electromagnética
- COMSOL Multiphysics**
Simulación avanzada
- COMSOL Multiphysics**
Simulación avanzada
- Aspen HYSYS / Aspen Plus**
Modelación química
- Arena Simulation**
Simulación procesos

SOFTWARE ESPECIALIZADO PARA INGENIERIA 3D

- AutoCAD**
Diseño técnicos 2D
- AutoCAD**
Diseño 2D y a 3D
- SolidWorks**
Modelaooone 3D
- Inventor**
Sistema de ecpañacion sa punts
- Inventor**
Fácil de realiar amena
- SketchUp**
Fácil de usar para arquitectura

Software para Estadística y Análisis de Datos

1. Minitab

- Ideal para DOE, control estadístico de procesos, ANOVA.
- Muy usado en ingeniería industrial, química y calidad.
- Interfaz amigable para alumnos que no dominan programación.

2. Python (Anaconda, Jupyter)

- Gratuito y extremadamente potente.
- Librerías clave: **Pandas, NumPy, SciPy, Matplotlib, Seaborn, Statsmodels.**
- Perfecto para análisis avanzados, machine learning, optimización y gestión de grandes datos.

3. R

- Excelente para estadística y visualización.
- Paquetes como **ggplot2, tidyverse, dplyr.**
- Ideal en estudios ambientales, biométricos y económicos.

4. Excel (con Solver y Data Analysis Toolpak)

- Disponible en casi todas las instituciones.
- Adecuado para estadística básica, matrices, regresiones y optimizaciones pequeñas.

Software para Simulación y Modelamiento

1. ANSYS

- Simulación estructural, térmica, de fluidos y electromagnética.
- Usado en ingeniería mecánica, civil y aeronáutica.

2. COMSOL Multiphysics

- Simulación multifísica avanzada

- Excelente para fenómenos acoplados: calor–masa–momentum, electroquímica, física cuántica, transporte de especies.

3. Aspen HYSYS / Aspen Plus

- Modelamiento de plantas químicas.
- Diseño de reactores, separaciones, destilaciones, balances de materia y energía
- Software estándar en Ingeniería Química.

4. Arena Simulation

- Simulación de procesos discretos.
- Muy usado en ingeniería industrial y logística.

5. Matlab

- Ideal para matrices, señales, sistemas dinámicos, control, optimización.
- Usado ampliamente por ingenieros eléctricos, mecánicos y de sistemas.

Software especializado para Ingeniería Ambiental

1. AERMOD (EPA)

- Modelo para dispersión de contaminantes atmosféricos.
- Requerido en estudios de impacto ambiental.

2. HEC-RAS

- Modelamiento de ríos, hidrología y riesgo de inundaciones.
- Muy útil en ingeniería civil y ambiental.

3. QGIS

- Sistema de información geográfica gratuito.
- Permite mapas, análisis espacial, georreferenciación.

4. ArcGIS

- Versión profesional y más completa para análisis territorial.

5. EPA SWMM

- Modelamiento de aguas pluviales, alcantarillado y drenaje urbano.

Software de Diseño e Ingeniería 3D

1. AutoCAD

- Diseño técnico 2D y 3D.
- Base en ingeniería civil, mecánica, eléctrica.

2. SolidWorks

- Modelado 3D y simulación mecánica.
- Ideal para proyectos de manufactura.

3. Inventor

- Diseño 3D avanzado para prototipos.

4. SketchUp

- Fácil de usar para estructuración arquitectónica e inicial.

Software para Optimización

1. LINGO / LINDO

- Optimización lineal, no lineal y programación entera.

2. GAMS

- Modelamiento matemático de sistemas de producción.

3. Python (scipy.optimize, pulp, pyomo)

- Herramientas poderosas y gratuitas para optimización compleja.

Apps Gratuitas para Estudiantes

1. PhET Interactive Simulations

- Simulaciones didácticas de física, química y matemáticas.

2. Wolfram Alpha

- Resolución automática de ecuaciones, integrales, modelos.

3. GeoGebra

- Excelente para funciones, matrices, geometría.

4. iAuditor

- Para levantar datos en campo con checklists.

5. Sound Meter / dB Meter

- Para medición de ruido ambiental.
- Útil en proyectos ambientales y de seguridad industrial.

6. PlantNet

- Identificación de especies vegetales para estudios ambientales.

Repositorios y Bases de Datos Científicas

- **Google Scholar**
- **Scielo**
- **IEEE Xplore**
- **ScienceDirect**
- **SpringerLink**
- **ResearchGate**
- **PubMed**

Plantillas, Recursos y Herramientas de Escritura

1. Overleaf (LaTeX)

- Perfecto para escribir artículos científicos y tesis profesionales.

2. Grammarly / LanguageTool

- Corrección de estilo.

3. Mendeley / Zotero

- Gestión automática de referencias en APA.

Checklists para investigación

✓ CHECKLIST 1: Para plantear el problema de investigación

✓ A. Identificación del problema

- ¿Existe una situación real, observable y verificable?
- ¿El problema afecta un proceso, sistema, ambiente o material?
- ¿Hay evidencia preliminar (datos, fotos, informes, normas)?

✓ B. Análisis del problema

- ¿Se identificaron causas y efectos?
- ¿Se elaboró un árbol de problemas?
- ¿El problema tiene solución mediante investigación?

✓ C. Formulación del problema

- ¿Se redactó un **problema general** en forma de pregunta?
- ¿Se redactaron **problemas específicos** coherentes con el general?
- ¿Son claros, concretos y medibles?

✓ D. Delimitación

- ¿Se definió el espacio (lugar)?
- ¿El tiempo (año o periodo)?
- ¿La población o sistema físico?
- ¿Se identificaron las variables principales?

✓ CHECKLIST 2: Para analizar datos

✓ A. Preparación de los datos

- ¿Los datos fueron limpiados (sin duplicados ni valores erróneos)?
- ¿Se identificaron datos atípicos (outliers)?
- ¿Se verificó la consistencia y el formato (unidades, etiquetas, etc.)?

✓ B. Análisis descriptivo

- ¿Se calcularon medidas: media, mediana, desviación estándar?
- ¿Se construyeron tablas ordenadas?
- ¿Se realizaron gráficos adecuados (barras, dispersión, boxplot)?

✓ C. Análisis inferencial (si aplica)

- ¿Se eligió correctamente la prueba estadística?
- ¿Se verificaron los supuestos (normalidad, independencia, homogeneidad)?
- ¿Se reportaron valores p, intervalos de confianza, errores estándar?

✓ D. Interpretación

- ¿Los resultados responden a los objetivos?
 - ¿Se relacionaron con teoría o estudios previos?
 - ¿La interpretación es objetiva y técnica?
-

✓ CHECKLIST 3: Para escribir un Artículo Científico (IMRyD)

✓ A. Introducción

- ¿Presenta el contexto y el problema?
- ¿Se justifica la importancia del estudio?
- ¿Incluye antecedentes recientes (5 años)?
- ¿Indica claramente el objetivo?

✓ B. Métodos

- ¿Se describe el diseño de investigación?
- ¿Se detalla población/muestra o sistema analizado?

- ¿Se explican instrumentos, materiales, sensores o software usados?
- ¿Se muestra el procedimiento paso a paso?
- ¿Se respetan normas éticas o técnicas?

✓ C. Resultados

- ¿Los resultados están en tablas o gráficos claros?
- ¿No se interpretan aquí (solo se presentan)?
- ¿Incluye estadísticas clave?
- ¿Son coherentes con los objetivos?

✓ D. Discusión

- ¿Interpreta los resultados con fundamentos?
- ¿Compara con literatura previa?
- ¿Explica limitaciones del estudio?

✓ E. Conclusiones

- ¿Derivan directamente de los objetivos?
- ¿Son precisas y no incluyen información nueva?

✓ F. Referencias

- ¿Están en formato APA 7?
- ¿Son actuales y pertinentes?

✓ CHECKLIST 4: Para la sustentación final de Tesis

✓ A. Diseño de diapositivas

- ¿Incluye máximo 12–15 diapositivas?
- ¿Usa tipografía grande y legible?
- ¿Contiene gráficos claros y simples?
- ¿Evita párrafos largos?
- ¿Mantiene colores profesionales?

✓ B. Presentación oral

- ¿El estudiante respira, controla el ritmo y vocaliza bien?

- ¿Mantiene contacto visual?
- ¿Utiliza lenguaje técnico apropiado?
- ¿Evita muletillas (“eh”, “este”, “mmm”)?
- ¿Cumple el tiempo asignado?

✓ C. Dominio del contenido

- ¿Explica claramente problema, objetivos, métodos y resultados?
- ¿Domina las tablas, gráficos y análisis?
- ¿Sabe justificar decisiones metodológicas?

✓ D. Respuesta a preguntas del jurado

- ¿Escucha antes de responder?
- ¿Responde con seguridad y precisión?
- ¿Reconoce límites del estudio sin justificar en exceso?
- ¿Relaciona respuestas con teoría o evidencias?
- ¿Finaliza con mensajes claros y profesionales?

Consejo de los autores

★ Consejos de los Autores: Recomendaciones del Ingeniero Investigador

Después de muchos años formando alumnos, guiando tesis y realizando investigación aplicada en ingeniería, hemos aprendido que la clave no está en memorizar métodos, sino en *saber pensar como ingeniero investigador*. Por eso, cerramos este libro con estos consejos prácticos que te acompañarán en cada proyecto:

✓ 1. Nunca empieces investigando sin entender el problema

El error más común es correr a recoger datos sin definir con claridad la situación que realmente importa.

Detente, observa, pregunta, vuelve al campo si es necesario. Un buen problema bien definido es la mitad de la investigación resuelta.

✓ 2. Diseña siempre con un propósito

Antes de realizar un experimento, pregúntate:

“¿Este dato me acerca a mi objetivo? ¿O sólo estoy midiendo por medir?”

La ingeniería requiere precisión, no acumulación de información.

✓ 3. No temas simplificar

Las mejores investigaciones ingenieriles son claras, directas y útiles. Evita complicar modelos, ecuaciones o análisis sólo para que “suene científico”. La verdadera genialidad está en la claridad.

✓ 4. Aprende a usar software desde hoy, no al final

Python, R, Minitab, Excel, ANSYS, MATLAB... No esperes a estar apurado para aprenderlos.

Los ingenieros no compiten por fuerza, sino por herramientas.

✓ 5. Haz siempre una validación

Un resultado sin validación es solo una sospecha.

Valida con:

- Datos reales.
- Simulaciones.
- Réplicas.
- Comparación con literatura.
- Juicio de expertos.

Tu credibilidad depende de ello.

✓ 6. Comunica como si enseñaras

Explica tu investigación como si se la enseñaras a alguien que no conoce el tema. Si puedes hacerlo simple, entonces lo dominas.

✓ 7. No te enamores de tu hipótesis

En ingeniería, a veces el sistema se comporta diferente a lo que creemos.

Acepta cuando los datos te contradicen.

La ciencia no busca confirmar ideas, sino descubrir la verdad.

✓ 8. Mantén un cuaderno de ingeniero

Anota:

- Fechas.
- Ideas.
- Errores.
- Mejoras.
- Resultados inesperados.

El cuaderno es tu memoria técnica y tu mejor defensa ante dudas del jurado.

✓ 9. La ética primero

- No inventes datos.
- No fuerces conclusiones.
- No copies textos.
- La ética profesional es el valor más alto del ingeniero.

✓ 10. Aprende siempre de cada proyecto

- Cada investigación te hace mejor ingeniero.
- Cada error te enseña más que cien libros.
- Cada conclusión abre una nueva pregunta.
- Nunca dejes de investigar.
- Nunca dejes de mejorar.

★ Mensaje final para nuestros lectores

Querido estudiante, colega o profesional:

Este libro está hecho para acompañarte en tu camino.

Si logramos que investigar te parezca más claro, más práctico y más tuyo... entonces nuestra misión está cumplida.

Recuerda:

El ingeniero no solo resuelve problemas.

El ingeniero crea soluciones que cambian vidas.

Sigue adelante.

Tu mejor proyecto aún está por comenzar.

Referencias

A

Alley, M. (2013). *The craft of scientific presentations*. Springer.

American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7.^a ed.). APA.

APHA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association.

B

Babbie, E. (2020). *The practice of social research* (15th ed.). Cengage Learning.

Baca Urbina, F. (2010). *Evaluación de proyectos*. McGraw-Hill.

Barboza, J., y Sánchez, M. (2021). Evaluación de barreras verdes en la atenuación de ruido. *Revista Peruana de Ingeniería Ambiental*, 12(2), 40–52.

Baxter, M. (2015). *Product design: Practical methods for the systematic development of new products*. CRC Press.

Bernal, C. (2020). *Metodología de la investigación* (4.^a ed.). Pearson.

Blessing, L. & Chakrabarti, A. (2009). *DRM: A design research methodology*. Springer.

Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R. y Weimer, D. L. (2018). *Cost-benefit analysis: Concepts and practice*. Cambridge University Press.

Bradbury, N. (2016). *Confident communication for scientists and engineers*. Oxford University Press.

Bunge, M. (2017). *Metodología de la investigación científica*. Ariel.

C

Chapra, S. y Canale, R. (2015). *Métodos numéricos para ingenieros* (7.^a ed.). McGraw-Hill.

Chong, E. K. y Zak, S. H. (2013). *An introduction to optimization*. Wiley.

Creswell, J. W. y Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE.

Creswell, J. W. y Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE.

Creswell, J. W. y Poth, C. (2018). *Qualitative inquiry & research design* (4th ed.). SAGE.

D

Day, R. A. y Gastel, B. (2016). *How to write and publish a scientific paper*. Cambridge University Press.

Deb, K. (2001). *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*. Wiley.

Devore, J. (2016). *Probability and statistics for engineering and the sciences* (9th ed.). Cengage Learning.

Doran, G. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Management Review*, 70(11), 35–36.

E

EPA. (2016). *Quality assurance handbook for air pollution measurement systems*. United States Environmental Protection Agency.

F

Fortin, M. (2013). *Fundamentos y procesos de la investigación científica*. McGraw-Hill.

Franco, J., Santos, A. y Pérez, R. (2020). *Metodología aplicada a proyectos tecnológicos*. Alfaomega.

G

Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2016). *Análisis y diseño de experimentos* (3.ª ed.). McGraw-Hill.

H

Hair, J., Black, W., Babin, B. y Anderson, R. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage.

Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2022). *Metodología de la investigación* (7.^a ed.). McGraw-Hill.

Hillier, F. y Lieberman, G. (2021). *Introduction to operations research* (11th ed.). McGraw-Hill.

Hofmann, A. H. (2017). *Scientific writing and communication*. Oxford University Press.

I

IEC 61672-1. (2013). *Electroacoustics — Sound level meters*. International Electrotechnical Commission.

ISO 9001. (2015). *Quality management systems — Requirements*. ISO.

ISO 1996-2. (2017). *Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2*. ISO.

ISO/IEC 17025. (2017). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. ISO.

K

Kerlinger, F. N. y Lee, H. (2002). *Foundations of behavioral research* (4th ed.). Harcourt.

Kitchin, R. y McArdle, G. (2016). *Data revolution*. SAGE.

Kvale, S. (2011). *Doing interviews*. SAGE.

L

Locke, L., Silverman, S. & Spirduso, W. (2013). *Proposals that work*. SAGE.

López, M. (2021). Estudio de filtros híbridos para tratamiento de aguas grises. *Revista Ingeniería Ambiental*.

Lucas, S. (2015). *The art of public speaking*. McGraw-Hill.

M

Martínez, L., Torres, P. y Delgado, R. (2019). Neural network models for electrical demand forecasting. *IEEE Latin America Transactions*, 17(8), 1324–1331.

McKinney, W. (2022). *Python for data analysis* (3rd ed.). O'Reilly Media.

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Wiley.

Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control* (8th ed.). Wiley.

Montgomery, D. C. & Runger, G. C. (2018). *Applied statistics and probability for engineers* (7th ed.). Wiley.

O

Ogata, K. (2010). *Modern control engineering*. Prentice Hall.

R

Reynolds, G. (2012). *Presentation Zen: Simple ideas on presentation design and delivery*. New Riders.

Ries, E. (2011). *The lean startup*. Crown Business.

Rojas, F. (2020). Optimización de procesos industriales mediante simulación. *Revista de Ingeniería Industrial*, 15(1), 23–35.

S

Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 7(1), 12–24.

T

Tamayo, M. (2019). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa.

Triola, M. (2018). *Elementary statistics* (13th ed.). Pearson.

Turner, D. B. (1994). *Workbook of atmospheric dispersion estimates*. CRC Press.

U

Ulrich, K. T., y Eppinger, S. D. (2016). *Product design and development*. McGraw-Hill.

Z

Zelazny, G. (2010). *Say it with presentations*. McGraw-Hill.

Anexos

PLANTILLAS DE MATRICES

1. Matriz de Problema (Árbol del Problema)

(Adaptado Hernández et al., 2022; Cerda, 2019)

Problema central	_____
Causas directas	1. _____ 2. _____
Causas indirectas	a) _____ b) _____
Efectos directos	1. _____ 2. _____
Efectos indirectos	a) _____ b) _____

2. Matriz de Objetivos (Árbol de Objetivos)

(Hernández, 2021)

Objetivo general	_____
Medios directos	1. _____ 2. _____
Medios indirectos	a) _____ b) _____
Fines directos	1. _____ 2. _____
Fines indirectos	a) _____ b) _____

3. Matriz de Consistencia

(Modelo clásico de Bernal, 2010; Hernández et al., 2021)

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables
¿Cuál es...?	Determinar...	Si... entonces...	Variable X y Y

Ejemplo estructural

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables
¿Cómo influye X en Y en...?	Determinar la influencia de X en Y en...	H1: X influye significativamente en Y.	X: _____ Y: _____

4. Matriz de Operacionalización de Variables

(Basado en Hernández, 2021; Bisquerra, 2014)

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
Variable X						
Variable Y						

5. Matriz de Marco Teórico (Mapeo de contenidos)

(Modelos de fichaje de Tamayo, 2014)

Tema	Subtema	Contenido clave	Autor / Año	Relación con la variable

6. Matriz del Diseño Metodológico

(Hernández, 2021; Bernal, 2010)

Aspecto	Descripción
Tipo de investigación	
Enfoque	
Nivel	
Diseño	
Población	
Muestra	

Aspecto	Descripción
Técnicas	
Instrumentos	
Análisis de datos	

7. Matriz de Técnicas e Instrumentos

Técnica	Instrumento	Variable / Dimensión	Indicadores	Escala
Encuesta	Cuestionario			
Observación	Lista de cotejo			
Entrevista	Guía de entrevista			
Medición	Sensor / equipo			

8. Matriz de Validación de Instrumentos

(Según Aiken, 1980; Polit y Beck, 2017)

Ítem	Criterio	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Promedio
Ítem 1	Relevancia				
Ítem 2	Claridad				

Incluye fórmula del V de Aiken:

$$V = \frac{\sum s}{n(c - 1)}$$

9. Matriz de Confiabilidad

(Cronbach, 1951)

Dimensión	Ítems	Alfa esperado	Alfa obtenido

10. Matriz de Procesamiento de Datos

Variable	Técnica estadística	Software	Tipo de gráfica	Interpretación esperada
X	Media, desviación	Excel / Python	Barras	Tendencias
Y	Correlación	SPSS / R	Dispersión	Relación X-Y

11. Matriz de Presentación de Resultados

Variable	Tabla	Gráfico	Interpretación técnica
X	Tabla 1	Figura 1	

12. Matriz para Artículo Científico (IMRyD)

(Basado en CSE y Elsevier)

Sección	Contenido esperado
Introducción	Problema, antecedentes, brecha
Métodos	Diseño, muestra, instrumentos
Resultados	Tablas, gráficos
Discusión	Comparación con literatura
Conclusiones	Resumen final
Referencias	APA 7

FORMATOS DE ENCUESTAS (Plantillas profesionales)

Listas para copiar, adaptar e imprimir

1. Formato general de encuesta para tesis (cualquier área)

TÍTULO DE LA ENCUESTA:

Encuesta sobre _____

OBJETIVO:

Recolectar información sobre _____ para la investigación titulada “_____”.

INSTRUCCIONES:

- Marque con una “X” la alternativa que corresponda.
- Su participación es confidencial.
- No se recopilan datos personales sensibles.

SECCIÓN A. DATOS GENERALES

1. **Edad:**

Menos de 18 18–25 26–35 36–50 Más de 50

2. **Sexo:**

Femenino Masculino Prefiero no decirlo

3. **Ocupación:**

Estudiante Docente Técnico Profesional Otro: _____

4. **Nivel educativo:**

Secundaria Superior técnico Universitario Posgrado

SECCIÓN B. ESCALA TIPO LIKERT (1 a 5)

(Modificable según tu variable de estudio)

Escala:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Indiferente

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

B.1. Para estudios de ruido ambiental

5. El ruido en mi zona es constante durante el día

1 2 3 4 5

6. El ruido afecta mi concentración cuando estudio o trabajo

1 2 3 4 5

7. Considero que el ruido afecta mi salud (estrés, dolores de cabeza, etc.)

1 2 3 4 5

B.2. Para investigaciones de gestión o clima organizacional

5. En mi centro de trabajo existe buena comunicación interna

1 2 3 4 5

6. El ambiente laboral favorece el desempeño eficiente

1 2 3 4 5

B.3. Para ingeniería, calidad de procesos o seguridad industrial

5. Los procedimientos operativos están claramente definidos

1 2 3 4 5

6. Los equipos utilizados son seguros y confiables

1 2 3 4 5

SECCIÓN C. PREGUNTAS CERRADAS (Selección única)

8. ¿Considera adecuada la calidad del servicio/proceso/sistema evaluado?

Sí No

9. ¿Ha recibido capacitación sobre el tema evaluado?

10. Sí No

SECCIÓN D. PREGUNTAS DE MÚLTIPLE RESPUESTA

10. ¿Cuáles de los siguientes problemas percibe con mayor frecuencia?

- Ruido
- Polvo
- Tráfico
- Malos olores
- Falta de señalización

SECCIÓN E. PREGUNTAS ABIERTAS

11. ¿Qué mejoras considera necesarias?

12. Comentarios adicionales:

2. Formato de encuesta para estudios ambientales (plantilla especializada)

Nombre del proyecto: _____

Código: _____

Responsable: _____

Variables sugeridas:

- Contaminación acústica
- Calidad del aire
- Calidad del agua
- Percepción ambiental
- Salud comunitaria

Preguntas ejemplo:

1. ¿Qué tipo de contaminación percibe más en su zona?
 Ruido Polvo Humo Vertimientos Basura
2. ¿Con qué frecuencia percibe ruido fuerte?
 Nunca A veces Frecuente Siempre
3. Señale los efectos del ruido que ha experimentado:
 Insomnio
 Estrés
 Dolor de cabeza
 Falta de concentración
 Ninguno
4. ¿Cree que las autoridades gestionan adecuadamente el problema ambiental?
 Sí No No sabe

3. Formato de encuesta para ingeniería (procesos, operaciones, calidad)

1. ¿Los procedimientos están estandarizados en su área?
 Sí Parcialmente No
2. ¿Con qué frecuencia se calibran los equipos?
 Diario Semanal Mensual No se realiza
3. ¿El personal recibe capacitación técnica periódica?
 Sí No
4. En una escala del 1 al 5, evalúe la eficiencia del proceso:
 1 2 3 4 5
5. Describe brevemente los principales problemas operativos:

4. Formato de encuesta para investigaciones educativas

1. ¿Considera adecuado el nivel de ruido en las aulas?
 Sí No
2. El ruido afecta mi aprendizaje.
 1 2 3 4 5
3. El docente gestiona adecuadamente el ambiente de clase.
 1 2 3 4 5

5. Encuesta para tesis de salud y ruido (percepción + efectos)

1. ¿Cuántas horas al día está expuesto al ruido?
 <1 h 1–3 h 3–6 h >6 h
2. ¿Ha experimentado alguno de estos síntomas?
 Irritabilidad Dolor de oído Insomnio Taquicardia
3. ¿Ha medido su presión arterial recientemente?
 Sí No
4. ¿Cree que el ruido influye en su presión arterial?
 Sí No No estoy seguro

6. Encuesta corta (rápida) — Solo 6 ítems

1. Edad:
2. Sexo:
3. Nivel de ruido percibido:
 Bajo Medio Alto
4. El ruido afecta mi salud:
 1 2 3 4 5
5. ¿Qué hora es más ruidosa?
 Mañana Tarde Noche
6. Sugiera una medida para reducir el ruido:

PLANTILLA COMPLETA DE TESIS

PORTADA

TÍTULO DEL TRABAJO

Autor: Nombre completo

Asesor: Nombre completo

Facultad / Escuela Profesional

Universidad

Ciudad, Año

DEDICATORIA

Texto opcional.

AGRADECIMIENTOS

Texto opcional.

ÍNDICE GENERAL

1. Resumen
2. Abstract
3. Introducción
4. Capítulo I. Planteamiento del problema
 - 1.1. Descripción de la realidad problemática
 - 1.2. Formulación del problema
 - 1.3. Objetivos (general y específicos)
 - 1.4. Justificación
 - 1.5. Alcances y limitaciones
5. Capítulo II. Marco teórico
 - 2.1. Antecedentes
 - 2.2. Bases teóricas

- 2.3. Definición de términos
- 2.4. Matriz de consistencia
- 6. Capítulo III. Metodología
 - 3.1. Tipo y diseño de investigación
 - 3.2. Población y muestra
 - 3.3. Técnicas e instrumentos
 - 3.4. Procedimiento
 - 3.5. Aspectos éticos
- 7. Capítulo IV. Resultados
- 8. Capítulo V. Discusión
- 9. Conclusiones
- 10. Recomendaciones
- 11. Referencias
- 12. Anexos

RESUMEN

Máximo 250 palabras. Debe incluir: objetivo, método, resultados y conclusión principal.

Palabras clave: 3 a 5 palabras.

ABSTRACT

Traducción del resumen.

Keywords: 3 a 5 palabras.

INTRODUCCIÓN

- Contexto general del estudio.
- Importancia del tema.
- Justificación breve.
- Estructura del documento.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Redacción detallada del contexto.

1.2. Formulación del problema

- **Problema general:** ¿Cómo ... ?
- **Problemas específicos:** ¿De qué manera ... ?

1.3. Objetivos

- **Objetivo general**
- **Objetivos específicos**

1.4. Justificación

Científica, social, metodológica, tecnológica o económica.

1.5. Alcances y limitaciones

Qué cubre y qué no cubre la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Estudios previos nacionales e internacionales.

2.2. Bases teóricas

Teorías, conceptos, variables e indicadores.

2.3. Definición de términos básicos

Conceptos esenciales del estudio.

2.4. Matriz de consistencia

Incluye: problema, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Ej.: descriptiva, correlacional, explicativa, experimental.

3.2. Población y muestra

Tamaño, criterios de inclusión/exclusión.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Encuesta, entrevista, ficha, sensor, etc.

3.4. Procedimiento

Pasos que seguirá la investigación.

3.5. Aspectos éticos

Confidencialidad, consentimiento, integridad.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Tablas, gráficos y análisis estadístico.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Contraste con estudios previos, interpretación.

CONCLUSIONES

Listadas según los objetivos.

RECOMENDACIONES

Basadas en las conclusiones.

REFERENCIAS

Formato APA (7ma edición).

ANEXOS

Encuestas, fichas, fotografías, planos, códigos, etc.

LISTADO DE VERBOS PARA OBJETIVOS

1. Verbos para *Objetivos Generales*

(Acciones amplias, globales, de alcance mayor).

- Analizar
- Evaluar
- Determinar
- Examinar
- Describir
- Explicar
- Identificar
- Caracterizar
- Diagnosticar
- Estudiar
- Comprender
- Estimar
- Proponer
- Diseñar
- Establecer
- Optimizar
- Comparar
- Investigar
- Explorar
- Modelar

2. Verbos para *Objetivos Específicos*

(Más concretos y operativos).

Para describir

- Describir
- Identificar
- Reconocer
- Precisar
- Enumerar
- Clasificar
- Caracterizar

Para analizar

- Analizar
- Examinar
- Estudiar
- Comparar
- Diagnosticar
- Relacionar
- Estructurar

Para medir / cuantificar

- Medir
- Cuantificar
- Determinar
- Calcular
- Estimar
- Valorar

Para evaluar

- Evaluar
- Comprobar

- Verificar
- Validar
- Monitorear
- Controlar

Para explicar

- Explicar
- Interpretar
- Fundamentar
- Argumentar

Para diseñar o proponer

- Diseñar
- Proponer
- Elaborar
- Formular
- Construir
- Implementar
- Generar

Para mejorar / intervenir

- Optimizar
- Incrementar
- Reducir
- Minimizar
- Fortalecer
- Integrar
- Aplicar

3. Verbos recomendados según tipo de investigación

a) Investigación descriptiva

- Describir
- Caracterizar
- Clasificar
- Identificar
- Determinar

b) Investigación correlacional

- Relacionar
- Vincular
- Asociar
- Comparar
- Analizar

c) Investigación explicativa o causal

- Explicar
- Demostrar
- Analizar
- Establecer
- Fundamentar

d) Investigación experimental

- Evaluar
- Comprobar
- Verificar
- Medir
- Determinar

e) Investigación aplicada / ingeniería

- Diseñar
- Proponer
- Implementar

- Optimizar
- Modelar
- Simular
- Validar

4. Verbos que NO se deben usar (por ser vagos o no medibles)

Evítalos en la redacción de objetivos:

- Conocer
- Comprender
- Aprender
- Estudiar (si no indica acción medible)
- Ver (muy vago)
- Saber
- Tratar
- Entender

PLANTILLA DE MARCO TEÓRICO

El marco teórico es la base conceptual que sustenta una investigación. Esta plantilla sirve para organizar antecedentes, teorías, conceptos, variables e indicadores de manera clara y estructurada.

1. Introducción al Marco Teórico

Breve presentación del propósito del marco teórico: definir conceptos, contextualizar el estudio y sustentar las variables.

2. Antecedentes de la Investigación

2.1. Antecedentes internacionales

- Autor (Año). *Título del estudio*. Principales hallazgos y relación con tu investigación.
- Autor (Año). *Título del estudio*. Principales hallazgos.

2.2. Antecedentes nacionales

- Autor (Año). *Título del estudio*. Principales aportes.

2.3. Análisis crítico de antecedentes

- Coincidencias con tu estudio.
- Aportes.
- Vacíos o limitaciones que tu investigación busca abordar.

3. Bases Teóricas

3.1. Teorías relacionadas al tema

- **Nombre de la teoría**
 - Autor(es)
 - Principios básicos
 - Aplicación a tu estudio

3.2. Conceptos fundamentales

Lista de conceptos ordenados y definidos:

- Concepto 1

- Concepto 2
- Concepto 3

3.3. Relación entre conceptos

Explica cómo se articulan entre sí los conceptos y teorías.

4. Variables de Estudio

4.1. Variable independiente

- Definición conceptual
- Definición operacional
- Dimensiones
- Indicadores

4.2. Variable dependiente

- Definición conceptual
- Definición operacional
- Dimensiones
- Indicadores

4.3. Variables de control (si corresponde)

- Variables adicionales controladas
- Justificación

5. Fundamentación Legal (opcional según disciplina)

Listado de normas, leyes, decretos o estándares técnicos que sustentan el estudio.

6. Modelo Teórico o Esquema Conceptual

Incluye un diagrama o esquema que muestre la relación entre variables.

7. Síntesis del Marco Teórico

Resumen que integre los conceptos más relevantes y su aporte al desarrollo de la investigación.

Nota: Mantener estilo formal, citas APA y coherencia lógica en el desarrollo del capítulo.

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

Título del estudio: *Impacto del Ruido Ambiental en el Rendimiento Académico de Estudiantes de Secundaria en la Ciudad de Iquitos, 2024*

Autor: Nombre del investigador

Asesor: Nombre del asesor

Institución: Universidad XXXXX

Programa: Ingeniería / Ciencias Ambientales / Educación

Año: 2025

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre el ruido ambiental y el rendimiento académico de estudiantes de educación secundaria en una institución educativa pública de Iquitos durante el año 2024. La investigación fue de tipo descriptiva correlacional, con un diseño no experimental y transversal. La muestra estuvo conformada por 120 estudiantes seleccionados mediante muestreo probabilístico. Se emplearon un sonómetro Clase 2 para registrar los niveles de ruido (dB) durante el horario escolar y un registro oficial de calificaciones para medir el rendimiento académico. Los resultados muestran que los niveles de ruido superan los 65 dB establecidos por la OMS para ambientes escolares. Se encontró una correlación negativa baja y no significativa entre ruido ambiental y rendimiento académico ($r = -0.182$; $p = 0.056$). Se concluye que, aunque existe una tendencia inversa, no se demuestra estadísticamente una relación significativa. Se recomienda ampliar la muestra y considerar factores psicológicos y socioambientales adicionales.

Palabras clave: ruido ambiental, rendimiento académico, contaminación sonora, educación.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La exposición continua a niveles elevados de ruido ambiental constituye un factor de riesgo para la concentración, el aprendizaje y la salud mental de la población escolar. En Iquitos, el crecimiento urbano desordenado, el tránsito vehicular y la falta de control sonoro generan situaciones que afectan directamente el proceso educativo. Esta investigación busca analizar la relación entre el ruido ambiental y el rendimiento académico en un contexto escolar de alta exposición sonora.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Diversos estudios internacionales (García, 2019; Müller, 2021) señalan que el ruido constante afecta la memoria de trabajo y la atención sostenida. A nivel nacional, Pérez (2022) encontró correlaciones moderadas entre ruido vehicular y desempeño escolar en Lima.

2.2 Bases teóricas

- **Ruido ambiental:** Sonido no deseado que genera molestias o altera la actividad humana (OMS, 2021).
- **Rendimiento académico:** Resultado cuantificable del aprendizaje del estudiante, generalmente reflejado en calificaciones.
- **Teoría de la carga cognitiva:** Plantea que estímulos distractores reducen la eficiencia del procesamiento mental.

2.3 Definición de términos

(... lista breve de definiciones ...).

2.4 Variables

- **Variable independiente:** Ruido ambiental (dB).
- **Variable dependiente:** Rendimiento académico (promedio final).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

Cuantitativa, descriptiva correlacional.

3.2 Diseño

No experimental, transversal.

3.3 Población y muestra

- **Población:** 480 estudiantes.
- **Muestra:** 120 estudiantes (muestreo aleatorio simple).

3.4 Técnicas e instrumentos

- **Ruido ambiental:** Medición con sonómetro digital (Clase 2).
- **Rendimiento académico:** Registro de notas oficiales.
- **Confiabilidad:** Estándar IEC 61672 para equipos de medición.

3.5 Procedimiento

1. Selección de aulas.
2. Medición del ruido durante 5 días en horario de clase.
3. Recolección de promedios académicos.
4. Procesamiento estadístico en Excel y SPSS.

3.6 Aspectos éticos

Consentimiento institucional y anonimato estudiantil.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Estadística descriptiva

- **Ruido ambiental promedio:** 72.4 dB (DE = 4.2).
- **Rendimiento académico promedio:** 13.8/20 (DE = 1.5).

4.2 Análisis correlacional

- Coeficiente de Pearson: $r = -0.182$
- Nivel de significancia: $p = 0.056 (> 0.05)$.

No existe relación estadísticamente significativa.

4.3 Tablas y gráficos

(Gráfico de dispersión, tabla de estadísticos, etc.).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los resultados coinciden parcialmente con estudios previos donde el ruido afecta negativamente el rendimiento escolar. Sin embargo, la correlación no significativa sugiere que otros factores podrían tener mayor influencia: motivación, hábitos de estudio, calidad docente o condiciones del hogar. El ruido, aunque presente, no explica por sí solo las variaciones en el desempeño académico.

CONCLUSIONES

1. Los niveles de ruido en las aulas superan los límites recomendados por la OMS.
2. Existe una relación negativa entre ruido y rendimiento académico, pero no es estadísticamente significativa.

3. El ruido puede influir, pero no constituye el único factor asociado al rendimiento.
4. Se requieren más estudios con variables adicionales como ansiedad, estrés y hábitos de estudio.

RECOMENDACIONES

1. Instalar barreras acústicas o paneles fonoabsorbentes en aulas expuestas.
2. Implementar campañas de sensibilización sobre contaminación sonora.
3. Ampliar la muestra y repetir mediciones en diferentes épocas del año.
4. Incluir variables psicológicas y socioeconómicas en futuras investigaciones.

REFERENCIAS (Ejemplo APA 7)

- García, M. (2019). Environmental Noise and Learning Performance. *Journal of Educational Psychology, 44*(3), 220–235.
- Müller, K. (2021). Urban Noise and Student Concentration. *Environmental Research, 11*(2), 120–140.
- OMS. (2021). *Environmental Noise Guidelines*. World Health Organization.
- Pérez, L. (2022). Ruido vehicular y aprendizaje escolar en Lima Metropolitana. *Revista Peruana de Educación, 18*(1), 45–55.

ANEXOS

- Instrumentos.
- Fotografías de medición
- Registros de ruido
- Tablas completas
- Cuestionarios (si corresponde)

Semblanza del autor

Luis Antonio Flores Flores

luis.flores@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1981-2012>

Doctor en Ingeniería Ambiental por la Universidad Nacional de Trujillo y Maestro en Ciencias Tecnologías Ambientales con mención en Industrias del Petróleo y Medio Ambiente, Ingeniero Químico y docente en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Especialista Ambiental, por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Autor de publicaciones en la línea de investigación en acústica, calidad de agua e hidrocarburos.

Kosseth Marianella Bardales Grández

kosseth.bardales@unapiquitos.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-5717-8868>

Doctora en Ingeniería Química Ambiental por la Universidad Nacional de Trujillo (UNT) y Magíster en Ciencias con mención en Ecología y Desarrollo Sostenible e Ingeniera Química por la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), con 16 años de experiencia como docente en la UNAP, Autora de publicaciones en la línea de investigación en algas verdes (biotecnología), acústica e hidrocarburos.

Miguel Angel Flores Flores

investigación.maff@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2454-1867>

Lic. En Bromatología y Nutrición Humana, con maestría en Salud Pública con conocimientos en metodología de la investigación, manejo nutricional y enfermedades metabólicas.

Arturo Seclén Medina

arturo.seclen@unapiquitos.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-8575-1361>

Doctor en Ciencias Empresariales por la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana y Maestro en Docencia e Investigación Universitaria, Licenciado en Física, Licenciado en Matemáticas y docente en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Especialista en Estadística para la Investigación por la Universidad Continental. Autor de publicaciones en la línea de investigación en física, matemática y medio ambiente.

Maria Enith Alva Chirinos

enithalvita@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3548-3917>

Egresada de la Maestría en Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Bióloga por la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, con experiencia estudio de monitoreo ambiental de fauna silvestre y fiscalización ambiental, autora de publicaciones en medio ambiente.

ISBN: 978-9942-679-98-7



9789942679987