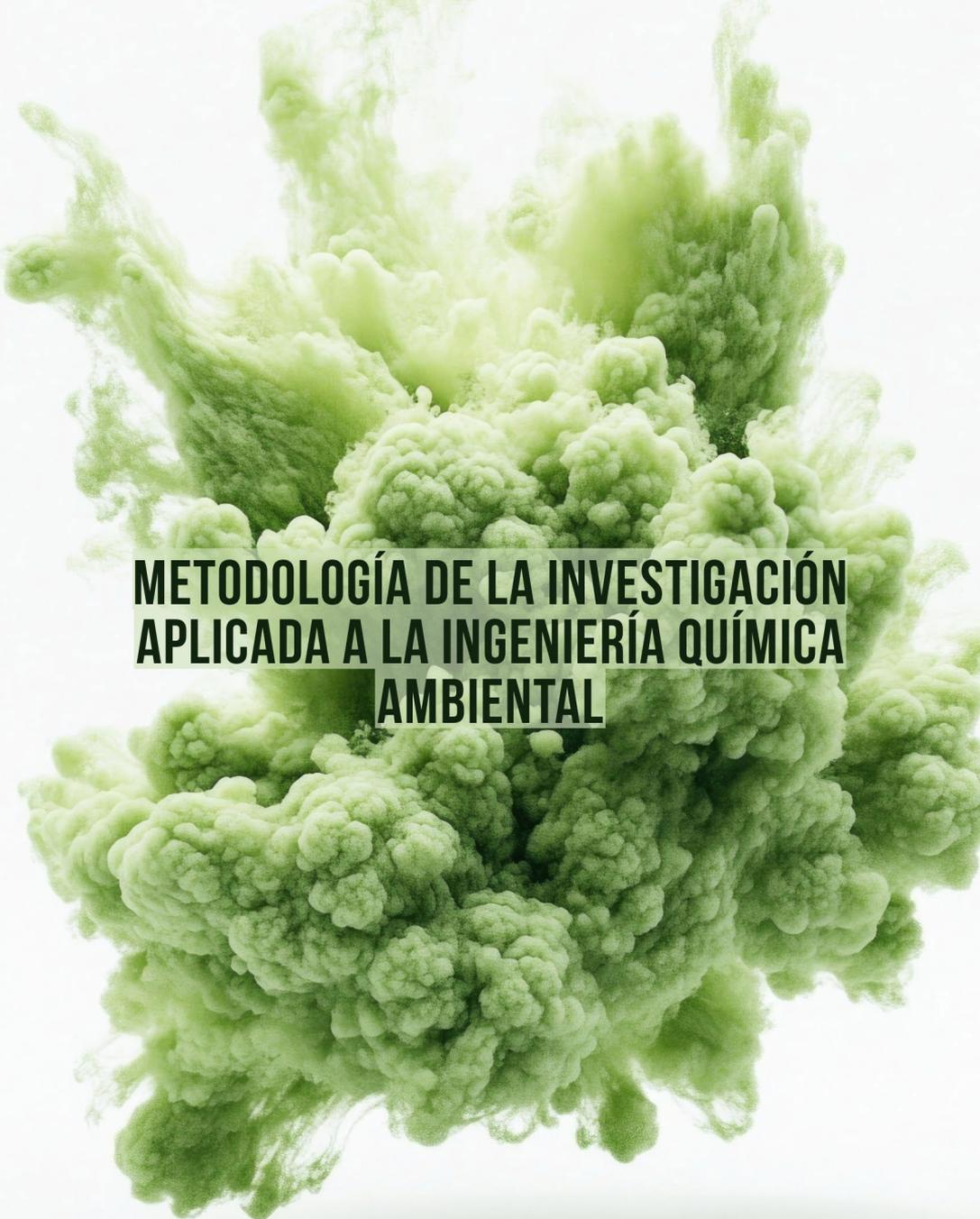


Antonio Manuel Otoy Zelada
Eliás Fernando Haro Aro
Guillermo David Evangelista Benites
Laura Isabel Gutiérrez Escarcena
Haniel Solís Muñoz
Gustavo Raúl Fernández Essenwanger

Mario Vladimir Leyva Collas
Alex Genereux Rodríguez Rodríguez
Luis Miguel Castillo Rodríguez
Wilmer Ugarte López
Fabián Alexander Huamán Cerna
Rudy Brian Céspedes Vásquez



**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
APLICADA A LA INGENIERÍA QUÍMICA
AMBIENTAL**



Antonio Manuel Otoyá Zelada, Elías Fernando Haro Aro, Guillermo David Evangelista Benites, Laura Isabel Gutiérrez Escarcena, Haniel Solís Muñoz, Gustavo Raúl Fernández Essenwanger, Mario Vladimir Leyva Collas, Alex Genereux Rodríguez Rodríguez, Luis Miguel Castillo Rodríguez, Wilmer Ugarte López, Fabián Alexander Huamán Cerna, Rudy Brian Céspedes Vásquez

Metodología de la investigación

aplicada a la ingeniería química ambiental



Quito, Ecuador
2025

Antonio Manuel Otoyá Zelada, Elías Fernando Haro Aro, Guillermo David Evangelista Benites, Laura Isabel Gutiérrez Escarcena, Haniel Solís Muñoz, Gustavo Raúl Fernández Essenwanger, Mario Vladimir Leyva Collas, Alex Genereux Rodríguez Rodríguez, Luis Miguel Castillo Rodríguez, Wilmer Ugarte López, Fabián Alexander Huamán Cerna, Rudy Brian Céspedes Vásquez

Research methodology

applied to environmental chemical engineering



Quito, Ecuador
2025

Religación Press

[Ideas desde el Sur Global]

Equipo Editorial / Editorial team

Ana B. Benalcázar
Editora Jefe / Editor in Chief
Felipe Carrión
Director de Comunicación / Scientific Communication Director
Melissa Díaz
Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator
Sarahi Licango Rojas
Asistente Editorial / Editorial Assistant

Consejo Editorial / Editorial Board

Jean-Arsène Yao
Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova
Fabiana Parra
Mateus Gamba Torres
Siti Mistima Maat
Nikoleta Zampaki
Silvina Sosa

Religación Press, es parte del fondo editorial del
Centro de Investigaciones CICSHAL-RELIGACIÓN |
Religación Press, is part of the editorial collection
of the CICSHAL-RELIGACIÓN Research Center |
Diseño, diagramación y portada | Design, layout and
cover: Religación Press.
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.
Correo electrónico | E-mail: press@religacion.com
www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en
| Available for free download at | [https://
press.religacion.com](https://press.religacion.com)

Este título se publica bajo una licencia de
Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
This title is published under an Attribution
4.0 International (CC BY 4.0) license.



CITAR COMO [APA 7]

Otoya Zelada, A. M., Haro Aro, E. F., Evangelista Benites, G. D., Gutiérrez Escarcena, L. I., Solís Muñoz, H., Fernández Essenwanger, G. R., Leyva Collas, M. V., Genereux Rodríguez Rodríguez, A., Castillo Rodríguez, L. M., Ugarte López, W., Huamán Cerna, F. A. y Céspedes Vásquez, R. B. (2025). *Metodología de la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.259>

Derechos de autor | Copyright: Religación Press, Antonio Manuel Otoya Zelada, Elías Fernando Haro Aro, Guillermo David Evangelista Benites, Laura Isabel Gutiérrez Escarcena, Haniel Solís Muñoz, Gustavo Raúl Fernández Essenwanger, Mario Vladimir Leyva Collas, Alex Genereux Rodríguez Rodríguez, Luis Miguel Castillo Rodríguez, Wilmer Ugarte López, Fabián Alexander Huamán Cerna, Rudy Brian Céspedes Vásquez

Primera Edición | First Edition: 2025

Editorial | Publisher: Religación Press

Materia Dewey | Dewey Subject: 660 - Ingeniería Química

Clasificación Thema | Thema Subject Categories: TQ - Ciencia, ingeniería y tecnología medioambientales / PDM - Investigación científica

BISAC: TEC010000

Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic

Colección | Collection: Ingeniería.

Soporte | Format: PDF / Digital

Publicación | Publication date: 2025-03-19

ISBN: 978-9942-561-05-3

Título: Metodología de la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental

Research methodology applied to environmental chemical engineering

Metodologia de pesquisa aplicada à engenharia química ambiental

Revisión por pares

La presente obra fue sometida a un proceso de evaluación mediante el sistema de dictaminación por pares externos bajo la modalidad doble ciego. En virtud de este procedimiento, la investigación que se desarrolla en este libro ha sido avalada por expertos en la materia, quienes realizaron una valoración objetiva basada en criterios científicos, asegurando con ello la rigurosidad académica y la consistencia metodológica del estudio.

Peer Review

This work was subjected to an evaluation process by means of a double-blind peer review system. By virtue of this procedure, the research developed in this book has been endorsed by experts in the field, who made an objective evaluation based on scientific criteria, thus ensuring the academic rigor and methodological consistency of the study.

Sobre los autores/ About the authors

Antonio Manuel Otoya Zelada. Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Maestro en Ciencias y Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), facultad de ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), facultad de Ingeniería Química. Miembro de RENACYT.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0001-6460-969X>

amotoyaz@unitru.edu.pe

antonio_otoya@hotmail.com

Elías Fernando Haro Aro. Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad Cesar Vallejo (UCV), ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Ingeniería Ambiental. Miembro de RENACYT.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-7989-6668>

eharoa@unitru.edu.pe

eliashaz2017@gmail.com

Guillermo David Evangelista Benites. Especialista en métodos numéricos, transferencia de calor, mecánica de fluidos y simulación de procesos. Doctor en Ciencias e Ingeniería. Miembro de RENACYT.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-1955-6565>

gevangelista@unitru.edu.pe

david_gdeb@hotmail.com

Laura Isabel Gutiérrez Escarcena. Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Ingeniería Ambiental. Miembro de RENACYT.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0001-7705-2106>

lgutierrez@unitru.edu.pe

lauraisage@gmail.com

Haniel Solís Muñoz. Ingeniero Químico con títulos de pregrado, maestría y doctorado de la Universidad Nacional de Trujillo. Experto en Ingeniería Química Ambiental, asesor y jurado de tesis. Docente en Química, Cultura Ambiental, Termodinámica, Diseño de Plantas de Tratamiento y más. Miembro de RENACYT.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-9482-9818>

hsolism@unitru.edu.pe

hanielsolis1979@gmail.com

Gustavo Raúl Fernández Essenwanger. Ingeniero químico, 18 años en minería aurífera. Dominio de planta Merrill Crowe. Planta de aguas acidas, planta de residuales, planta agua potable, estudios postgrado: master en ingeniería ambiental., doctor en ingeniería ambiental.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-8089-431X>

gfernandeze@unitru.edu.pe

raferessgoldmining@gmail.com

Mario Vladimir Leyva Collas. Ingeniero Químico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Magister en Gestión Ambiental en la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo, Doctor en Ingeniería Química Ambiental en la Universidad Nacional de Trujillo.

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo | Huaraz | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-4623-1782>

mleyvac@unasam.edu.pe

mariolco205@hotmail.com

Alex Genereux Rodríguez Rodríguez. Ingeniero Químico con maestría en Investigación y docencia universitaria, con experiencia en Docencia superior, Metalurgia, Laboratorio Químico, medio ambiente, Seguridad y salud ocupacional.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0001-8267-0507>

arodriguezro@unitru.edu.pe

ag_rodriguezr@hotmail.com

Luis Miguel Castillo Rodríguez. Ingeniero Químico con estudios en Ingeniería Industrial, Educación, Maestría en Ciencias Químicas, estudios en curso de Doctorado en Ingeniería Química Ambiental. Experiencia en Docencia Universitaria, Recursos Humanos, Control de Producción, Aseguramiento de la calidad, Seguridad y Salud en el trabajo.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-5806-6112>

lcastilloro@unitru.edu.pe

luiscastillorodriguez001@gmail.com

Wilmer Ugarte López. Doctor en Ciencias Ambientales, experto en gestión ambiental, con amplia experiencia en el sector privado en empresas trasnacionales líderes en minería, construcción y experiencia en el sector público como asesor y consultor ambiental, docente en la Universidad Nacional de Trujillo de la Escuela de Ingeniería Ambiental.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0003-0631-4900>

wugartel@unitru.edu.pe

zoneugarte@gmail.com

Fabián Alexander Huamán Cerna. Asistente de cátedra en la Facultad de Ingeniería Química – UNT, en los cursos de Fenómenos de Transporte y Modelamiento, Simulación y Control de Procesos. Grado de Bachiller en Ingeniería Química. Con título profesional de Ingeniero Químico.

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0009-0000-2096-2440>

fhuaman@unitru.edu.pe

fabianhuaman1998@gmail.com

Rudy Brian Céspedes Vásquez. Ingeniero Químico con maestría en Ingeniería Química Ambiental, Doctorando en Ingeniería Química Ambiental, RENACYT nivel 7 y docente universitario, con experiencia en proyectos de investigación multidisciplinaria y en laboratorio.

Universidad Tecnológica del Perú (UTP) | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0003-1833-153X>

C29357@utp.edu.pe

brian_14_09@hotmail.com

Resumen

El libro "Metodología de la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental" ofrece un compendio detallado sobre los fundamentos y aspectos avanzados de la investigación en este ámbito. A lo largo de ocho capítulos, el texto profundiza en temas cardinales, comenzando con el planteamiento del estudio, que guía al lector en la identificación y definición de problemáticas pertinentes en la ingeniería química ambiental. Posteriormente, se aborda el planteamiento teórico, proporcionando un sólido marco conceptual que sustenta la investigación. Seguidamente, se explora el planteamiento metodológico, donde se describen las técnicas y enfoques más idóneos para ejecutar un estudio meticuloso.

Palabras clave: Metodología de investigación; Ingeniería química ambiental; Planteamiento teórico; Técnicas de investigación; Problemáticas ambientales

Abstract

The book "Research Methodology Applied to Environmental Chemical Engineering" presents a thorough compendium on the fundamental and advanced aspects of research in this field. Across eight chapters, the text delves into essential themes, beginning with the formulation of the study, which guides the reader in identifying and defining pertinent issues in environmental chemical engineering. Subsequently, the theoretical framework is examined, offering a robust conceptual foundation that underpins the research. The methodological framework is then explored, where the most suitable techniques and approaches for conducting a meticulous study are described.

Keywords:

Research methodology; Environmental chemical engineering; Theoretical approach; Research techniques; Environmental issues; Research methodologies.

Resumo

O livro “Metodologia de pesquisa aplicada à engenharia química ambiental” oferece um compêndio detalhado sobre os fundamentos e os aspectos avançados da pesquisa nesse campo. Ao longo de oito capítulos, o texto explora questões fundamentais, começando com a abordagem do estudo, que orienta o leitor na identificação e definição de problemas relevantes na engenharia química ambiental. Em seguida, é apresentada a abordagem teórica, que fornece uma estrutura conceitual sólida que sustenta a pesquisa. Em seguida, a abordagem metodológica é explorada, descrevendo as técnicas e abordagens mais adequadas para a execução de um estudo completo. Palavras-chave:

Metodologia de pesquisa; Engenharia química ambiental; Abordagem teórica; Técnicas de pesquisa; Questões ambientais; Metodologias de pesquisas.

Contenido

Revisión por pares	6
Peer Review	6
Sobre los autores/ About the authors	8
Resumen	10
Abstract	10
Resumo	11
Capítulo 1	18
Planteamiento De Estudio	18
Preguntas-objetivos e hipótesis	21
Preguntas	21
Objetivos	21
Hipótesis	21
Justificación	22
Capítulo 2	24
Planteamiento Teórico	24
Antecedentes	24
Evolución Histórica de los Métodos de Investigación en la Ingeniería	25
Desarrollo de Los Métodos de Investigación	25
Marco Teórico	29
Metodología de la Investigación Científica	30
Investigación Cualitativa	31
Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	32
Métodos de Investigación	32
Técnicas de Investigación	33
Instrumentos de Investigación	33
Técnicas Específicas en Ingeniería Química Ambiental	34
Modelización y Simulación	34
Técnicas de Muestreo y Análisis	35
Presentación de Resultados	37
Discusión de Resultados	38
Aplicaciones y Estudios de Caso	39
Innovaciones y Desafíos en la Metodología de Investigación	40
Capítulo 3	44
Planteamiento Metodológico	44
Metodología de la investigación	44
Investigación cuantitativa	44
Recolección de Datos Experimentales	45
Simulación y Modelado Computacional	46
Metodología de Recolección de Datos	47
Tipos de Observación	48
Instrumentos de Observación	49
Test	53
Población y muestra	53

Capítulo IV	56
La Investigación Experimental Aplicada a la Ingeniería Química Ambiental	56
Temas que se podrían investigar	58
Casos de estudio	61
Caso de Estudio 1. Remediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados	61
Caso de Estudio 2. Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS)	62
Caso de Estudio 3. Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales	63
Caso de Estudio 4. Evaluación del Impacto Ambiental de la Producción	64
La investigación experimental	64
Características	66
Hipótesis	67
Control de Contaminantes	68
Componentes	70
Aplicación de las Variables en la Investigación	70
Clasificación de las Variables	70
Operacionalización de las Variables	71
Capítulo V	74
Diseño de la Investigación	74
Diseño no Experimental	75
Longitudinal (tendencia-análisis-grupos)	76
Transversal	79
Características de los Diseños Cuasi-Experimentales	85
Diseño del Estudio:	87
Esquema del Estudio	88
Experimentos puros	88
Aplicación de los Experimentos Puros en la Investigación en Ingeniería Química Ambiental	89
Ejemplo de Aplicación	89
Capítulo VI	92
Recolección de datos	92
Datos Cuantitativos	92
Confiabilidad (Con sus Procedimientos) y Validez (Tipos de Evidencia)	93
Aplicación en la Ingeniería Química Ambiental	94
Análisis descriptivo	96
Medidas de Variabilidad	99
Gráficas	100
Análisis Paramétrico	101
Regresión Lineal	103
Prueba t	103
Varianza	105
Covarianza	106
Coeficiente de Correlación de Kendall	109
Capítulo VII	112
Análisis De Datos	112
Datos Cualitativos	112
Introducción A Los Datos Cualitativos	112
Métodos de Análisis Cualitativo	115
Codificación y Categorización	115

Ventajas de la Codificación	116
Interpretación de Datos Cualitativos	125
Datos cuantitativos	130
Introducción a los Datos Cuantitativos	130
Métodos de Análisis Cuantitativo	133
Ejemplos de Aplicación en Ingeniería Química Ambiental	136
Aplicaciones del ANOVA	143
Calidad y Fiabilidad de los Datos	147
Interrelación de Variables	149
Capítulo VIII	154
Reporte De Resultados	154
Introducción al Reporte de Resultados	154
Recolección de Datos	155
Preparación de los datos	155
Análisis Estadístico Descriptivo	156
Análisis Inferencial	156
Regresión y Análisis de Correlación	156
Interpretación de Resultados	157
Presentación de Resultados	157
Validación y Verificación	157
Presentación de Resultados	160
Cualitativos	160
Componentes de resultados de una investigación cualitativa	161
Áreas principales de los resultados	162
Análisis descriptivo de resultados cualitativos	162
Estudio de caso	164
Estudio de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de comunidades agrícolas en el norte chico de Chile (Garay & Carcamo, 2015)	164
Resultados	166
Resultados Cuantitativos	167
Áreas Principales de los Resultados de una Investigación Cuantitativa	167
Visualización y Presentación de Resultados	169
Interpretación y Discusión	169
Gráficos para la interpretación de resultados cuantitativos:	169
Gráfico de Regresión No Lineal (Exponencial):	170
Gráfico de Correlación	171
Gráfico de Boxplot	171
Análisis e Interpretación de Resultados	172
Limitaciones del Estudio	183
Aplicación Práctica de los Resultados	185
Referencias	188

Tablas

Tabla 1.	83
Tabla 2.	84
Tabla 3.	84
Tabla 4.	87
Tabla 5.	88
Tabla 6. Ejemplo de una distribución de frecuencias	97
Tabla 7. Ejemplo 2 de una distribución de frecuencias.	97
Tabla 8. Ejemplo de una distribución resumida.	98
Tabla 9. Tabla de frecuencias por clases.	107
Tabla 10. Categorías resultantes en el estudio sobre vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de comunidades agrícolas en el Norte Chico de Chile.	166

Figuras

Figura 1. Rúbrica de evaluación de trabajos investigativos	52
Figura 2.	74
Figura 3.	74
Figura 4. Análisis eficaz de datos	125
Figura 5. Esquematización de la presentación de resultados	160
Figura 6. Regresión lineal: Concentración vs Tiempo	170
Figura 8. Gráfica de correlación de temperatura vs concentración de contaminante	171
Figura 9. Gráfica de Boxplot: Concentración a diferentes condiciones	172

Capítulo 1

Planteamiento De Estudio

Situación problemática

La necesidad de desarrollar una metodología de investigación surge de la necesidad de abordar problemas complejos y diversos de manera sistemática y rigurosa. En el pasado, muchas investigaciones se basan en intuiciones, suposiciones y métodos no estructurados, lo que a menudo resultaba en conclusiones poco fiables o sesgadas. La falta de un enfoque sistemático podía llevar a errores en la interpretación de datos y en la validación de resultados, afectando la credibilidad y la utilidad de los hallazgos. Esta situación problemática generó la necesidad de un enfoque más formal y estandarizado para asegurar que las investigaciones se realizarán de manera coherente y científica.

Durante el siglo XVII, con el auge de la ciencia experimental y el método científico propuesto por Francis Bacon, comenzó a gestarse una estructura más formalizada para la investigación. Bacon promovió la observación sistemática, la experimentación controlada y la inducción como métodos para adquirir conocimiento confiable. Su enfoque enfatizaba la importancia de la recopilación y el análisis de datos para validar teorías, sentando así las bases para una metodología más rigurosa. A lo largo del siglo XVIII y XIX, científicos como Galileo Galilei y Isaac Newton expandieron y refinaron estos métodos, incorporando la experimentación controlada y el análisis matemático.

En el siglo XX, el desarrollo de metodologías de investigación se diversificó aún más con la aparición de enfoques tanto cuantitativos como cualitativos. El trabajo de investigadores como Karl Popper, quien introdujo el concepto de falsabilidad como criterio para la ciencia, y de Auguste Comte, que promovió el positivismo, contribuyó a la formalización de métodos sistemáticos para la investigación. Estas metodologías modernas abarcan una amplia gama de

técnicas y enfoques, permitiendo a los investigadores abordar problemas desde múltiples perspectivas y aumentando la robustez y la diversidad de la investigación científica.

Entonces para resolver estos problemas, se desarrollaron metodologías de investigación que proporcionan un marco estructurado para la recolección y el análisis de datos. Estas metodologías establecen procedimientos claros para formular preguntas de investigación, diseñar experimentos o estudios, recolectar datos y analizar los resultados. Al seguir un enfoque sistemático, los investigadores pueden reducir la posibilidad de sesgo, mejorar la validez de sus resultados y hacer que sus hallazgos sean más reproducibles y generalizables. Esto no solo aumenta la calidad de la investigación, sino que también facilita la comparación y la integración de estudios distintos.

Así mismo esto permite la comunicación efectiva de los resultados y facilita el progreso en el conocimiento científico. Al seguir un protocolo estandarizado, los investigadores pueden presentar sus hallazgos de manera clara y transparente, lo que permite a otros científicos evaluar, replicar y construir sobre su trabajo. Esto fomenta un ambiente de colaboración y avance en la ciencia, ya que proporciona una base sólida sobre la cual se pueden construir nuevas teorías y aplicaciones. En resumen, la metodología de investigación aborda problemas de rigor y credibilidad en la investigación científica, promoviendo un enfoque más estructurado y confiable.

Es por ello que la metodología de la investigación es crucial porque proporciona un marco sistemático y organizado para llevar a cabo un estudio de manera rigurosa y eficiente. Al ofrecer una estructura clara para planificar y ejecutar la investigación, asegura que el proceso sea ordenado y que los objetivos estén bien definidos. Esto no solo facilita la comprensión del problema investigado, sino que también permite diseñar un estudio enfocado en aspectos específicos, evitando desviaciones y maximizando la relevancia de los resultados obtenidos.

Además, es fundamental para garantizar la validez y la fiabilidad de los datos. Al emplear técnicas y procedimientos estandarizados, se minimizan errores y se controla el impacto de variables confusas, lo que aumenta la precisión de los resultados. Este rigor metodológico es esencial para asegurar que las conclusiones sean fiables y que el estudio pueda ser replicado por otros investigadores, un principio clave en la ciencia para validar y consolidar el conocimiento.

Relacionando la metodología de investigación con el aspecto química ambiental, todo parte desde la conciencia sobre la contaminación ambiental y sus efectos nocivos empezó a aumentar durante la segunda mitad del siglo XX. Con el auge de los movimientos ambientales y la publicación de informes alarmantes sobre el deterioro ecológico, surgió una demanda urgente por métodos más rigurosos para estudiar y controlar la contaminación. En esta

etapa, los investigadores comenzaron a desarrollar y estandarizar técnicas para la detección y análisis de contaminantes en aire, agua y suelos. Las metodologías iniciales se centraron en técnicas analíticas básicas, como la espectrofotometría y la cromatografía, para medir concentraciones de contaminantes y evaluar su impacto. Posteriormente también se puso un énfasis creciente en la modelización matemática y computacional para predecir la dispersión de contaminantes y sus efectos a largo plazo. La investigación se enfocó en entender no solo la presencia de contaminantes, sino también sus interacciones químicas y su comportamiento en distintos compartimentos ambientales (Perico et al., 2020).

En las últimas décadas, el campo de la química ambiental ha integrado enfoques más interdisciplinarios y holísticos. Las metodologías modernas incluyen el uso de tecnologías de vanguardia, como la espectrometría de masas de alta resolución y la microscopía de electrones, para analizar contaminantes a nivel molecular y estructural. Además, se han desarrollado métodos para evaluar la toxicidad de contaminantes y sus efectos en la salud humana y los ecosistemas. Los investigadores también emplean enfoques de investigación participativa y de ciencias ciudadanas, involucrando a la comunidad en la recolección de datos y en la gestión ambiental. Este enfoque integral ayuda a abordar problemas complejos y a diseñar estrategias más efectivas para la mitigación y prevención de la contaminación ambiental.

Por lo tanto, aplicar una metodología de investigación en química ambiental es crucial para garantizar la precisión y el rigor científico en el análisis de contaminantes. La química ambiental requiere la medición exacta de sustancias químicas en el aire, agua y suelo, así como la evaluación de sus impactos. Una metodología rigurosa proporciona procedimientos estandarizados para la recolección y el análisis de datos, lo que asegura que los resultados sean fiables y comparables. Sin un enfoque metodológico, los datos podrían estar sesgados o ser inconsistentes, dificultando una interpretación adecuada del alcance y los efectos de la contaminación. Así, un enfoque sistemático es fundamental para obtener conclusiones válidas y reproducibles en los estudios ambientales.

Además, una metodología de investigación bien desarrollada es esencial para evaluar adecuadamente el impacto de los contaminantes en la salud humana y los ecosistemas. Al utilizar técnicas analíticas estandarizadas y modelos predictivos, los investigadores pueden comprender mejor cómo los contaminantes afectan a los organismos y al medio ambiente a corto y largo plazo. Esto permite identificar las fuentes de contaminación, evaluar los riesgos asociados y diseñar estrategias efectivas para su mitigación. Sin una metodología adecuada, sería difícil cuantificar el impacto real de los contaminantes y desarrollar medidas eficaces para prevenir daños.

Finalmente, la aplicación de metodologías de investigación proporciona una base sólida para el desarrollo de políticas y regulaciones ambientales. Las

decisiones sobre límites de concentración de contaminantes y programas de monitoreo deben basarse en datos científicos confiables. Una metodología robusta asegura que los resultados de los estudios sean claros y precisos, facilitando la comunicación efectiva con los tomadores de decisiones y justificación de las medidas regulatorias. Esto contribuye a la formulación de políticas basadas en evidencia, promoviendo la protección del medio ambiente y la salud pública mediante intervenciones informadas y bien fundamentadas.

Preguntas-objetivos e hipótesis

Preguntas

- ¿Cómo pueden las metodologías de investigación actuales en ingeniería química ambiental ser mejoradas para abordar de manera más efectiva los problemas ambientales?
- ¿Qué metodologías de investigación aplicadas han demostrado ser más efectivas en la resolución de problemas ambientales en la ingeniería química?
- ¿Cuáles son las principales limitaciones de las metodologías actuales en la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental?

Objetivos

- Evaluar las metodologías de investigación actuales en ingeniería química ambiental para identificar áreas de mejora.
- Comparar la efectividad de diferentes metodologías aplicadas en la resolución de problemas ambientales específicos.
- Proponer un enfoque metodológico adaptado que mejore la investigación aplicada en ingeniería química ambiental.

Hipótesis

- Las metodologías de investigación actualmente empleadas en ingeniería química ambiental presentan limitaciones significativas que impiden una resolución efectiva de problemas ambientales.

- La implementación de metodologías adaptadas y específicas para la investigación en ingeniería química ambiental resultará en una mayor efectividad en la solución de problemas ambientales.
- La mejora en la metodología de investigación aplicada llevará a una mejor integración de soluciones sostenibles y prácticas en el campo de la ingeniería química ambiental.

Justificación

La investigación en ingeniería química ambiental es esencial para enfrentar los desafíos ambientales globales, que son cada vez más complejos y dinámicos. En este contexto, la metodología de investigación aplicada desempeña un papel crucial al permitir el desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles para los problemas ambientales. No obstante, las metodologías actuales pueden presentar limitaciones al intentar abordar estos problemas, ya que a menudo no están completamente adaptadas a la naturaleza multifacética y en constante cambio de los desafíos ambientales contemporáneos.

Identificar y proponer mejoras en estas metodologías no solo contribuirá a una mayor eficiencia y efectividad en la resolución de problemas ambientales, sino que también facilitará la implementación de soluciones prácticas más robustas. Una metodología bien ajustada puede optimizar la capacidad de los investigadores y profesionales para evaluar, diseñar y aplicar soluciones que tengan un impacto positivo en la protección y preservación del medio ambiente.

Además, el desarrollo de metodologías mejoradas en ingeniería química ambiental puede proporcionar herramientas prácticas valiosas que beneficiarán a la industria, al sector académico y a la sociedad en general. Estas herramientas pueden incluir técnicas avanzadas para la gestión de residuos, el control de contaminantes y la optimización de procesos, promoviendo así un desarrollo más sostenible.

Esta investigación no solo tiene el potencial de avanzar en el conocimiento académico dentro del campo de la ingeniería química ambiental, sino que también puede generar aplicaciones prácticas que impulsen la innovación y la mejora en la gestión ambiental. La adaptación y perfeccionamiento de metodologías de investigación permitirán enfrentar con mayor eficacia los desafíos ambientales, contribuyendo al bienestar global y a la sostenibilidad a largo plazo.

Capítulo 2

Planteamiento Teórico

Antecedentes

Para comprender la relevancia y el contexto de nuestra investigación, es esencial realizar una revisión bibliográfica como parte de obtener una información base en realización al marco actual del estudio. Este capítulo proporciona una visión general de los estudios desarrollados anteriormente de forma teórica y práctica, que han influido en el tema del Método de la Investigación relacionado a la Ing. Química Ambiental. A través de una revisión exhaustiva de la literatura existente y el análisis de investigaciones previas, se delinearon los conceptos clave y las teorías fundamentales que han dado forma a nuestro Libro de investigación.

En primer lugar, se exploró los hitos históricos y las primeras investigaciones que han sentado las bases del campo de estudio. Posteriormente, se abordarán las principales teorías y modelos que han emergido a lo largo del tiempo, destacando cómo estas han evolucionado y cómo han sido reinterpretadas en diferentes contextos.

Así mismo, este capítulo de antecedentes proporciona el contexto necesario para entender la relevancia de tu investigación. Al ofrecer una visión general del estado actual del conocimiento y los desarrollos históricos en el campo, ayuda a situar tu estudio dentro de un marco más amplio. Esto permite a los lectores comprender por qué tu investigación es relevante y cómo se relaciona con trabajos previos. Como también es clave para construir el marco teórico de tu investigación. Te permite presentar y discutir las teorías y conceptos que guiarán tu análisis

y que serán fundamentales para interpretar tus hallazgos. Esto asegura que tu estudio esté respaldado por un marco conceptual sólido.

Este análisis permitirá identificar los conocimientos existentes y establecer el punto de partida para nuestra investigación. Al situar nuestro estudio en el marco de estos antecedentes, buscamos no solo reconocer el estado actual del conocimiento, sino también aportar una perspectiva nueva y valiosa.

La forma del método de investigación en ingeniería ha experimentado una notable evolución desde sus primeras aplicaciones prácticas hasta transformarse en un área compleja y multidisciplinaria. En este capítulo, explicaremos los antecedentes fundamentales que han influido en el desarrollo de las metodologías actuales en ingeniería, con el objetivo de ofrecer una visión integral de cómo estas metodologías han sido elaboradas y perfeccionadas a lo largo del tiempo.

Evolución Histórica de los Métodos de Investigación en la Ingeniería

En sus inicios, la investigación en ingeniería se caracterizaba por un enfoque práctico y empírico. Durante la Revolución Industrial, los ingenieros comenzaron a sistematizar sus técnicas, pero no fue sino hasta mediados del siglo XX que se empezaron a establecer metodologías específicas. En ese entonces, los métodos de investigación se enfocan mayormente en la experimentación y el desarrollo de prototipos, guiados en gran medida por la experiencia y la intuición más que por métodos científicos rigurosos.

Con el avance tecnológico y el aumento de la complejidad en los problemas de ingeniería, surgió la necesidad de enfoques metodológicos más estructurados. A finales del siglo XX y principios del XXI, se incorporaron métodos más formales que incluían el análisis estadístico, el modelado matemático y la simulación por computadora. Estos enfoques permitieron a los ingenieros enfrentar problemas más complejos con mayor precisión y eficacia (Delgado, 2010).

Desarrollo de Los Métodos de Investigación

Una de las aportaciones más destacadas a la metodología de investigación en ingeniería fue la incorporación del método científico como un marco riguroso para la investigación. Este enfoque, fundamentado en la observación metódica, la formulación de hipótesis, la experimentación y la verificación, estableció una base firme para el desarrollo de nuevas tecnologías y la optimización de procesos ya existentes.

Hoy en día, la investigación en ingeniería emplea diversos enfoques, tanto cuantitativos como cualitativos. La utilización de modelos computacionales y simulaciones se ha convertido en una práctica común, lo que permite a los ingenieros anticipar el comportamiento de los sistemas antes de su construcción física. Además, los métodos ágiles y las técnicas de investigación orientadas al sector industrial, como el desarrollo colaborativo entre disciplinas, están en ascenso (Delgado, 2010).

De acuerdo a Gallego y Gonzalez (2017), la Ingeniería pertenece al tipo de las ciencias aplicadas, y que de acuerdo al diseño para este tipo, se considera de forma empírica y cíclica, pero de acuerdo al autor esto viene a ser un método que no le permite a la Ingeniería mejorar en su aprendizaje. Cabe precisar que el autor, menciona que existen muchas similitudes entre la ciencia y la ingeniería, por lo que algunos métodos aplicados para la investigación están fuertemente relacionados. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los diseños de Ingeniería están basados en modelos estructurados que son parte de los procesos del ciclo de investigación y de diseño. Por lo tanto, la metodología de investigación en cualquier rama de alguna ingeniería es extensa y diversa, incorporando múltiples áreas de conocimiento y enfoques metodológicos. Esta amplitud abarca diversos aspectos, incluyendo la ingeniería de requisitos, la configuración, la gestión, el análisis funcional, la arquitectura del sistema, el diseño conceptual, la evaluación de los diseños, la toma de decisiones, la gestión de cambios en el diseño, la ingeniería basada en modelos, la escalabilidad, la innovación y los enfoques educativos utilizados en la formación de ingenieros. En general, al establecer este método, es crucial formular interrogantes de investigación claras, proponer un enfoque sólido, solucionar el problema en cuestión y aprobar la metodología aplicada, así como los resultados obtenidos. En este contexto, es necesario desarrollar métodos, herramientas y bases teóricas que se aparten del criticado método científico como la única forma de abordar estos tipos de problemas.

A partir de la revisión bibliográfica se ha obtenido una Guía Teórica–Práctica para la aplicación de la Metodología para la Investigación, en el campo de la Química, desarrollado por la Quiroga (2018), en la Universidad de Catamarca. En ella se menciona que la investigación en las ciencias experimentales de forma general y particular, forman parte de una experiencia personal compleja, desafiante e inquietante. Este proceso requiere disciplinar tanto el pensamiento como la acción, y demanda una constante introspección y reflexión sobre cómo abordar el conocimiento de un aspecto específico del mundo. Además, implica encontrar un equilibrio entre la aplicación de normas establecidas por los métodos y una dosis de creatividad e innovación. En este camino, la libertad de pensamiento del investigador se enfrenta al peso de las tradiciones y rituales de la investigación científica.

Por su parte la formación en la ciencia implica mantener un dominio en los saberes disciplinares, así como también los procesos involucrados en su desarrollo, esto implica definir que la metodología científica es un campo especializado para el estudio de los métodos utilizados en la ciencia para adquirir conocimientos válidos ante las posibles situaciones actuales del investigador. Por esto, esta metodología ofrece la posibilidad de explorar los métodos que la ciencia utiliza para generar nuevo conocimiento. Además, permite comprender los métodos y técnicas necesarios para obtener las evidencias que sustentan las afirmaciones y por último también facilita la evaluación del impacto y las limitaciones de la ciencia en contextos reales, fomentando la integración de conocimientos, habilidades y valores provenientes de otras áreas del saber científico.

En esta guía se describe una breve descripción acerca de la parte de Ciencia y la Sociedad, y su relación en el Método Científico ya que forma parte vital del interés del investigador por la naturaleza de adquirir conocimientos. Así mismo la investigación científica se define como un proceso metódico y sistemático destinado a la generación y validación de conocimientos nuevos. Sin embargo, lejos de ser un procedimiento rígido y uniforme, este proceso es inherentemente dinámico y flexible, adaptándose a los constantes avances en el conocimiento y a los desafíos emergentes en distintas disciplinas. El carácter dinámico de la investigación científica se manifiesta en la manera en que los métodos y técnicas evolucionan para responder a nuevas preguntas y problemas. A medida que se desarrollan nuevas tecnologías y herramientas, los enfoques metodológicos deben adaptarse para incorporar estas innovaciones y mejorar la precisión y el alcance de los resultados obtenidos. Además, la investigación científica no solo se basa en la aplicación de métodos preestablecidos, sino que también implica una constante revisión y ajuste de estrategias para abordar de manera efectiva las cuestiones planteadas. Esto incluye la formulación y reformulación de hipótesis, la implementación de diseños experimentales adaptativos y la integración de diversos enfoques metodológicos para lograr una comprensión más completa del fenómeno estudiado.

Por su parte la investigación es un esfuerzo sistemático para descubrir, interpretar y revisar el conocimiento en diversos campos. Para lograr estos objetivos, se emplean diferentes tipos de investigación, cada uno con sus propios propósitos, métodos y aplicaciones. Entender estos tipos es esencial para seleccionar el enfoque adecuado que permita abordar preguntas específicas de manera eficaz y significativa. Entre los tipos más comunes tenemos la investigación básica, que se centra en el entendimiento teórico de fenómenos sin considerar aplicaciones prácticas inmediatas; la investigación aplicada que tiene un enfoque más práctico y busca resolver problemas específicos; la investigación experimental se caracteriza por la manipulación y control de variables para establecer relaciones de causa y efecto; la investigación no experimental el cual se basa en la observación y el análisis de fenómenos en su entorno natural, sin

intervenir ni controlar variables; la investigación cuantitativa se enfoca en la recolección y análisis de datos numéricos para identificar patrones, relaciones y generalizaciones; la investigación cualitativa se basa en datos no numéricos, como entrevistas y observaciones, para explorar experiencias, percepciones y contextos; la investigación exploratoria se utiliza cuando el tema de estudio es nuevo o poco conocido y la investigación descriptiva busca detallar y caracterizar aspectos específicos de un fenómeno ya identificado, proporcionando una visión detallada y precisa de sus propiedades y relaciones.

De acuerdo el autor De la Mora (2012), por su parte la Investigación más relacionada al campo de la Química son los de tipo experimental ya que involucra la manipulación de variables, entre ellos la metodología de investigación en ingeniería química se centra en el desarrollo, análisis y optimización de procesos y sistemas químicos industriales. Este campo integra principios de química, ingeniería y ciencia de materiales para abordar desafíos complejos relacionados con la producción de sustancias químicas y la mejora de procesos industriales. La metodología utilizada en esta disciplina es rigurosa y adaptativa, reflejando la naturaleza multidisciplinaria y aplicada de la ingeniería química. La metodología de investigación en ingeniería química es un proceso estructurado y adaptable que abarca desde la definición del problema hasta la aplicación práctica de soluciones. La integración de técnicas experimentales, analíticas y computacionales permite abordar desafíos complejos y contribuir al avance de la tecnología y la optimización de procesos en la industria química. La aplicación rigurosa de esta metodología asegura la generación de conocimientos valiosos y la mejora continua en el campo de la ingeniería química.

Por otra parte, Perico et al. (2020), realiza su propia guía práctica de Investigación en relación a la Ingeniería, existen diversas estrategias para aumentar el interés en la investigación, como el estudio bibliográfico, el análisis de conceptos y una profunda exploración del estado del arte sobre un problema específico o del entorno de los estudiantes. Así mismo sugiere que estas opciones varían según el nivel de los investigadores, su interés y los recursos disponibles. Una manera efectiva de estimular la curiosidad y la investigación es que los estudiantes construyan su conocimiento a través de la combinación de práctica, experiencia y teoría mediante proyectos. No obstante, debido a las múltiples ocupaciones, especialmente en procesos aplicativos establecidos y menos innovadores, así como al uso excesivo de tecnología y dispositivos electrónicos, no se ha observado un crecimiento significativo en el número de investigadores. Un aspecto clave que el autor sugiere es que los investigadores escojan el tema en función de sus intereses personales o su afinidad por el área de ingeniería. Es fundamental que el tema sea algo que les apasione, ya que se sugiere trabajar en equipo a los estudiantes para facilitar un aprendizaje más profundo y una mejor retención de la información. Además, siempre que sea posible, el tema debería estar relacionado con aspectos

cercanos a su entorno, ya sea en términos espaciales, temporales o simplemente por su relevancia percibida. Después de haber determinado el tema, es necesario centrarse en el problema, el cual debe ser identificado a partir del ambiente en que se presenta el problema, a través de la observación, la experiencia o la percepción de que merece un estudio. De acuerdo a la elección del tema, se puede precisar si este es viene siendo algo muy amplio y general, en cual se consideraría como un campo extenso de estudio que abarca diversos problemas específicos.

De acuerdo a Yuni (2003), la metodología se entiende como el conjunto de procedimientos utilizados para guiar el proceso de investigación hasta su conclusión. Una manera práctica de diseñar la metodología es identificar y organizar las tareas necesarias para alcanzar cada uno de los objetivos. Este mismo enfoque se debe aplicar a todos los objetivos específicos. De esta forma, al completar cada una de estas tareas, se cumplen los objetivos específicos, lo cual a su vez asegura el logro del objetivo general y ayuda a responder las preguntas de investigación. Así mismo el autor define que para establecer la metodología para investigar en temas de Ingeniería Química Ambiental, se debe considerar la definición del problema considerando su identificación a partir de los aspectos e impactos ambientales en un campo de estudio, así mismo estableciendo el alcance que presenta el problema, para definir los límites de la investigación y enfocarse en aspectos específicos. Posteriormente se debe llevar a cabo la revisión de estudios previos, con la intención de conocer y enfocarse a la mejora continua de los temas revisados, de acuerdo a ello se formula los objetivos y preguntas de la investigación que se quiere llevar a cabo, los cuales deben ser claras ya que esto permitirá una guía de estudio y la obtención de respuestas. De acuerdo a esto, se debe definir los métodos experimentales y analíticos apropiados para tu investigación, como técnicas de muestreo, análisis químicos o simulaciones, ya que este desarrollo de experimentos pueda comprobar tus hipótesis o responder a las preguntas de investigación de manera efectiva. Finalmente se podrá obtener los resultados válidos, los cuales deben ser representativos del estudio y que después de un análisis de datos a partir de métodos estadísticos, permite verificar la precisión de lo obtenido para asegurarse que estos sean fiables. Posterior a ello se termina con la elaboración de las conclusiones obtenidas, comparándolo con las Normas establecidas para evaluar la relación entre ellas, además de ello es importante precisar en las soluciones y recomendaciones para mejorar las prácticas actuales y solucionar los problemas propuestos.

Marco Teórico

La investigación en ingeniería química ambiental se centra en la aplicación de principios científicos y técnicos para abordar problemas ambientales. La metodología de la investigación en este campo es fundamental para desarrollar

soluciones sostenibles y eficaces. Este marco teórico revisa los enfoques metodológicos utilizados en la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental, destacando los métodos cuantitativos y cualitativos, el diseño experimental, y la modelización y simulación (Gamage & Smits, 2019; Yadav et al., 2020).

Metodología de la Investigación Científica

Investigación Cuantitativa. Se caracteriza por la recolecta y evaluación de valores numéricos. En ingeniería química ambiental, este tipo de investigación es crucial para medir contaminantes, evaluar la eficiencia de procesos de tratamiento y modelar sistemas ambientales.

Diseño Experimental. El diseño experimental es de tipo cuantitativa. Permite controlar variables y determinar relaciones causales. Los experimentos pueden ser de laboratorio o de campo, y deben estar cuidadosamente planificados para obtener mayor validación y confianza en los datos obtenidos. Por ejemplo, en estudios de tratamiento de aguas residuales, los investigadores pueden diseñar experimentos para probar la eficiencia de diferentes coagulantes a varias concentraciones, controlando diferentes variables (Montgomery, 2017; Rubio-Aliaga et al., 2019). Además, el uso de diseños factoriales y diseños de respuesta superficial se aumentó en estos años para optimizar múltiples variables simultáneamente y encontrar las condiciones operativas más eficientes (Jones & Nachtsheim, 2017). En estudios recientes, se han aplicado estos métodos para optimizar procesos de biorremediación y tratamientos avanzados de aguas residuales (Kumar et al., 2020). Por ejemplo, en la investigación sobre la disminución de contaminantes que derivan de procesos avanzados de oxidación, el diseño de experimentos ha permitido identificar las condiciones óptimas de operación y maximizar la eficiencia de remoción (Ahmed et al., 2018).

Estadística y Análisis de Datos. El uso de técnicas estadísticas es esencial para analizar los datos recolectados. metodologías como el análisis de regresión, la ANOVA y el estudio multivariante son comunes en estudios ambientales. Por ejemplo, el análisis de regresión puede utilizarse para evaluar la el vínculo entre la concentración de un contaminante y diversas variables ambientales, como la temperatura y la velocidad del viento (Ott & Longnecker, 2016; Guttman & Sainani, 2017). Además, técnicas más avanzadas, como la regresión PLS (Partial Least Squares) y los modelos de ecuaciones estructurales, se han vuelto cada vez más populares en la investigación ambiental debido a su capacidad para manejar datos multivariados complejos y explorar relaciones causales entre variables latentes (Wold et al., 2020; Hair et al., 2019). Por ejemplo, en estudios recientes sobre la dispersión de contaminantes atmosféricos, se ha aplicado la regresión

PLS para identificar las principales fuentes de emisión y predecir su impacto en la calidad del aire (Zou et al., 2019). Asimismo, el análisis multivariante se utiliza para la clasificación y discriminación de diferentes tipos de suelos contaminados y para evaluar la efectividad de diversas técnicas de remediación (Jolliffe & Cadima, 2016).

Investigación Cualitativa

Se usa para comprender fenómenos complejos que no pueden ser cuantificados fácilmente. En ingeniería química ambiental, puede incluir estudios de caso, entrevistas y análisis de contenido.

Estudios de Caso. Permiten una comprensión profunda de situaciones específicas. Por ejemplo, un estudio de caso sobre la implementación de un proceso para tratar el agua residual en una comunidad puede revelar factores sociales y económicos críticos (Yin, 2018; Baxter & Jack, 2020). Un ejemplo podría ser el análisis de la adopción de tecnologías de biodigestores en comunidades rurales de América Latina y cómo esto afecta la calidad del agua y la salud pública. Además, los estudios de caso pueden proporcionar información valiosa sobre la aceptación social y los desafíos operacionales de las tecnologías ambientales (Crowe et al., 2019). En un estudio reciente, se buscó el implemento de procesos para captar el agua de lluvia en regiones semiáridas, destacando las barreras culturales y económicas que enfrentan las comunidades locales (Klemeš et al., 2020). Estos estudios son cruciales para desarrollar estrategias de implementación más efectivas y sostenibles.

Entrevistas y Grupos Focales. Las entrevistas y grupos focales son técnicas cualitativas utilizadas para recopilar información detallada de los stakeholders. Estas técnicas son útiles para obtener percepciones y opiniones sobre prácticas ambientales y políticas (Creswell & Poth, 2018; Roulston, 2021). Por ejemplo, se pueden realizar entrevistas a los residentes de una comunidad afectada por la contaminación industrial para entender mejor sus preocupaciones y experiencias. Además, las entrevistas brindan información importante sobre la efectividad de las políticas ambientales y la implementación de tecnologías sostenibles (Bryman, 2019). En un estudio reciente, se utilizaron grupos focales para evaluar la percepción pública de los proyectos de energía renovable en áreas rurales, revelando factores clave que influyen en la aceptación comunitaria y la resistencia (Morgan & Hoffman, 2020). Estos métodos también son efectivos para explorar las barreras y facilitadores en adquirir hábitos agrícolas sostenibles entre los pequeños agricultores (Creswell et al., 2021).

Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

Cada punto de estos tiene un rol importante, ya que, son elementos cruciales en la ejecución de la investigación científica. Cumpliendo funciones como la recolección, análisis y la muestra de información (Arias, 2020).

Métodos de Investigación

Las estrategias de investigación son puntos estratégicos y generalizados que son aplicados para crear preguntas de investigación y lograr cumplir los objetivos específicos planteados (Sánchez & Murillo, 2021). Entre los más usados se encuentran:

M. Experimental. Empleado para obtener relaciones causa-efecto entre variables mediante el manejo de una variable del tipo independiente y el análisis de su efecto en una de estas (Fainete, 2023).

M. Observacional. Trata sobre el análisis metódico y específico de casos, comunidades, objetos, etc. en su entorno natural para recolectar información (Arias, 2020).

M. de Encuesta. Se usa para recolectar información mediante preguntas para recopilar datos mediante preguntas organizadas y convencionales conducidas a los que participan (Sánchez & Murillo, 2021).

M. de Estudio de Casos. Se trata de una investigación profunda de uno o múltiples temas para comprender el efecto de un hecho en específico de manera detallada (Ramírez & Callegas, 2020).

Método Histórico. Involucra el estudio de hechos, eventos y personas que hayan pasado empleando documentos e información confiable e histórica. (Sánchez & Murillo, 2021).

M. de Investigación Cualitativa. Emplea instrumentos como entrevistas analíticas y específicas del tema para conseguir información descriptiva y a detalle sobre lo percibido y las experiencias. (Arias, 2020).

M. de Investigación Cuantitativa. *Esta consiste en recolectar y luego estudiar los datos matemáticos mediante las técnicas de la estadística (Arias, 2020).*

M. de Investigación Acción. *Introduce a comunidades y participantes en las etapas de investigación y busca agilizar el proceso tomando decisiones prácticas (Lamas et al., 2019).*

Técnicas de Investigación

Son procedimientos particulares que se usan en el proceso de la interpretación, el análisis o la recolección de datos (Arias, 2020). Aquí se enumeran algunas de las técnicas más comunes:

Entrevistas semiestructuradas y estructuradas. Se utilizan en encuestas y investigaciones cualitativas para recopilar datos específicos de los que participan.

Análisis de contenido. Es un método de tipo cualitativo que clasifica y codifica la información (imágenes, videos o textos).

Experimentos de laboratorio. Métodos particulares en estudios con metodología experimental para dirigir y manipular dentro de un ambiente todas las variables.

Muestreo aleatorio. Se seleccionan participantes al azar para garantizar la representatividad de una muestra.

Escala de calificación. Se enfoca en las variables cuantitativas mediante técnicas que la calculan, se emplea el uso de escalas de calificación, como las escalas de Likert.

Análisis de regresión. Es un proceso basado en la estadística que se emplea para estudiar la relación entre variables y hacer pronósticos.

Instrumentos de Investigación

Son instrumentos específicos usados para recolectar datos (Arias, 2020). Estos cambian de acuerdo al método y las técnicas empleadas, e incluyen:

Cuestionarios y encuestas. Instrumentos para recopilar información de manera estructurada y sistemática mediante una serie de preguntas dirigidas a los que participan con el propósito de recolectar datos sobre los conocimientos, datos demográficos, comportamientos, etc.

Entrevistas. Los documentos con preguntas y temas que guían las entrevistas se utilizan para recopilar información cualitativa profunda sobre una variedad de temas, examinando y evaluando las percepciones, los conocimientos, datos demográficos, comportamientos, etc. de los participantes.

Las fichas de observación. Son instrumentos que facilitan a los investigadores registrar información relevante sobre eventos, los conocimientos, datos demográficos, comportamientos que han sido directamente observados en un ambiente determinado.

Grupos Focales. Son herramientas cualitativas que reúnen a los que participan en un ambiente controlado y moderado por un facilitador para obtener información detallada sobre actitudes, percepciones, opiniones y experiencias relacionadas con un tema particular.

Software de análisis de datos. Para procesar y analizar datos, se emplean herramientas informáticas como Excel, SPSS o R (Perdigón & Pérez, 2022).

Estos tres elementos (métodos, técnicas e instrumentos) interactúan en el sistema de investigación para permitir la recolectar, analizar y presentar de forma efectiva los datos, logrando así resultados importantes.

Técnicas Específicas en Ingeniería Química Ambiental

Modelización y Simulación

La modelización y simulación son herramientas poderosas en ingeniería química ambiental. Permiten predecir el comportamiento de sistemas complejos y evaluar el impacto de diferentes escenarios.

Modelos Matemáticos. Los modelos matemáticos se utilizan para representar sistemas ambientales. Pueden ser determinísticos o estocásticos, y su desarrollo requiere una comprensión profunda de los procesos físicos y químicos involucrados (Chapra, 2011; Reckhow et al., 2019). Un ejemplo es el uso de modelos de transporte y dispersión de contaminantes para predecir la concentración de PM₁₀ en áreas urbanas. Estos modelos son esenciales para examinar el impacto de las emisiones en la industria y vehiculares en el aire y su calidad (Gupta y Christopher, 2020). Además, los modelos hidrológicos se utilizan para simular el comportamiento de cuencas hidrográficas y predecir la disponibilidad de recursos hídricos bajo diferentes escenarios de cambio climático (Singh et al., 2020). En la gestión de residuos, los modelos matemáticos ayudan a optimizar la logística de recolección y tratamiento, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos operativos (Karmperis et al., 2017). Por ejemplo, un estudio reciente aplicó modelos estocásticos para evaluar la incertidumbre en las predicciones de calidad del agua en ríos afectados por descargas industriales, proporcionando un instrumento importante para tomar una decisión en la gestión ambiental (Li et al., 2019).

Software de Simulación. Herramientas como MATLAB, Aspen Plus y COMSOL Multiphysics son ampliamente utilizadas para simular procesos químicos y ambientales. Estas herramientas permiten visualizar resultados y realizar análisis de sensibilidad (Aspen Technology, 2020; MathWorks, 2019). Por ejemplo, Aspen

Plus se utiliza frecuentemente para simular procesos de destilación y absorción en el tratamiento de gases de combustión. Además, MATLAB se emplea para desarrollar algoritmos de optimización y análisis estadístico de datos ambientales (Moler, 2020). COMSOL Multiphysics, por otro lado, es una herramienta poderosa para modelar y simular fenómenos multifísicos, incluyendo la transferencia de calor y el flujo de fluidos en sistemas ambientales complejos (COMSOL, 2021). En investigaciones recientes, se ha utilizado COMSOL para estudiar la difusión de contaminantes en suelos y aguas subterráneas, proporcionando un análisis de forma detallada de las etapas de los procesos de transporte y las interacciones químicas (Wang et al., 2019). Además, el uso de estos softwares en la educación superior ha mejorado la formación de ingenieros químicos ambientales, permitiendo a los estudiantes realizar experimentos virtuales y analizar datos en tiempo real (Smith & Peters, 2020).

Técnicas de Muestreo y Análisis

El muestreo y análisis de contaminantes son componentes críticos de la investigación en ingeniería química ambiental.

Muestreo de Aire y Agua:

Técnicas de Muestreo. Técnicas de muestreo como el uso de bombas de aire y muestreadores de agua son esenciales para recolectar datos precisos. Es importante seguir protocolos estandarizados para asegurar la representatividad de las muestras (APHA, 2017; ISO, 2020). Por ejemplo, el muestreo de aire puede involucrar el uso de filtros de alta eficiencia para capturar partículas finas en áreas industriales, mientras que el muestreo de agua puede requerir la utilización de frascos estériles y preservativos químicos para evitar alteraciones en la calidad de las muestras (EPA, 2019). Además, el muestreo continuo y en tiempo real mediante sensores de alta precisión está ganando popularidad, permitiendo una monitorización más detallada y dinámica de contaminantes en los recursos naturales (Lee et al., 2021). Los protocolos estandarizados, como los establecidos por la Organización Internacional de Normalización (ISO), aseguran que los datos recolectados sean comparables y válidos a nivel global, facilitando la evaluación y comparación de la calidad ambiental (ISO, 2020). En las últimas investigaciones, se ha demostrado que la combinación de técnicas tradicionales y avanzadas mejora significativamente la detección de contaminantes y la calidad de los datos obtenidos (Sánchez et al., 2022).

Análisis Instrumental

Métodos como la cromatografía de gases, espectroscopía de absorción atómica y espectrometría másica son comunes para analizar contaminantes en muestras ambientales. Estos métodos proporcionan datos cuantitativos precisos sobre la concentración de diferentes compuestos (Harris, 2015). Un ejemplo es el uso de cromatografía de gases para analizar compuestos orgánicos volátiles en muestras de aire.

Análisis de Datos

Según Rodríguez (2021), el análisis de datos es fundamental en la investigación científica, ya que permite interpretar la información recolectada y extraer conclusiones significativas. Este proceso puede abordarse mediante métodos cualitativos y cuantitativos, y a menudo se apoya en software especializado.

Métodos de Análisis Cualitativo

Los métodos cualitativos son utilizados para interpretar datos no numéricos, proporcionando una comprensión profunda de los fenómenos estudiados.

Análisis de Contenido. Este método consiste en identificar patrones y temas recurrentes en los datos cualitativos, como transcripciones de entrevistas o documentos. Se categoriza la información en códigos y temas, lo cual facilita la identificación de tendencias y relaciones dentro de los datos (Krippendorff, 2020).

Análisis Temático. Similar al análisis de contenido, el análisis temático se enfoca en identificar, analizar y reportar patrones (temas) dentro de los datos. Este método es útil para resumir aspectos clave de los datos y proporcionar interpretaciones detalladas sobre temas específicos (Braun & Clarke, 2020).

Métodos de Análisis Cuantitativo

El análisis cuantitativo se utiliza para examinar datos numéricos y hacer inferencias estadísticas.

Estadísticas Descriptivas. Estas técnicas resumen y describen las características principales de un conjunto de datos, utilizando medidas como la media, mediana, moda, desviación estándar y varianza. Las estadísticas descriptivas permiten presentar de manera clara la distribución y tendencia central de los datos (Field, 2021).

Estadísticas Inferenciales. Estas técnicas permiten hacer generalizaciones sobre una población a partir de una muestra, incluyendo pruebas de hipótesis, intervalos de confianza, regresión y análisis de varianza (ANOVA). Son fundamentales para validar hipótesis y establecer relaciones causales entre variables (Cohen et al., 2022).

Modelos Matemáticos. Los modelos matemáticos utilizan ecuaciones para describir y predecir comportamientos de sistemas reales. En ingeniería química ambiental, estos modelos pueden simular procesos como el tratamiento de aguas y la dispersión de contaminantes, proporcionando herramientas valiosas para la toma de decisiones (Chapra & Canale, 2020).

Uso de Software para el Análisis de Datos

El uso de software especializado facilita el análisis de grandes volúmenes de datos y la aplicación de técnicas avanzadas.

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Este software es ampliamente utilizado en ciencias sociales y naturales para el análisis de datos cuantitativos. Ofrece una variedad de funciones estadísticas y es conocido por su facilidad de uso y capacidad para manejar grandes bases de datos (Pallant, 2020).

MATLAB. Utilizado principalmente en ingeniería y ciencias aplicadas, MATLAB es una herramienta poderosa para el análisis numérico y la visualización de datos. Ofrece una amplia gama de funciones matemáticas y herramientas de simulación (Attaway, 2021).

R: Este lenguaje de programación y entorno de software es ampliamente utilizado por estadísticos y científicos de datos debido a su capacidad para realizar análisis estadísticos avanzados y generar gráficos de alta calidad. R es altamente flexible y extensible, con numerosos paquetes disponibles para diferentes tipos de análisis y visualización de datos (Wickham, 2020).

Interpretación de Resultados

La interpretación de resultados es una fase crucial en la investigación, donde se presentan, discuten y comparan los hallazgos con estudios previos.

Presentación de Resultados

Los resultados de la investigación deben presentarse de manera clara y comprensible, utilizando tablas, gráficos y figuras. Estas herramientas visuales ayudan a sintetizar y comunicar la información de manera efectiva, facilitando la comprensión y el análisis de los datos recolectados (Julian, 2021).

Discusión de Resultados

En la discusión de resultados, se interpretan los hallazgos en el contexto del marco teórico y los objetivos de la investigación. Se deben explorar las implicaciones de los resultados, así como sus limitaciones y posibles explicaciones alternativas. La discusión también puede incluir recomendaciones para futuras investigaciones (Bemur, 2023).

Comparación con Estudios Previos

Comparar los resultados obtenidos con estudios previos permite validar los hallazgos y situarlos dentro del cuerpo de conocimiento existente. Esta comparación puede revelar tendencias, inconsistencias y discrepancias, proporcionando una base para nuevas hipótesis e investigaciones futuras (Cooper, 2020).

Aplicación de Resultados en la Ingeniería Química Ambiental

Los resultados de la investigación en ingeniería química ambiental tienen importantes implicaciones prácticas y pueden conducir a propuestas de soluciones y mejoras, así como a la transferencia de tecnología y conocimiento.

Implicaciones Prácticas de los Hallazgos. Los hallazgos de la investigación pueden tener aplicaciones prácticas en áreas como el tratamiento de aguas, la gestión de residuos y el control de la contaminación. Implementar estos hallazgos puede mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos ambientales y contribuir a la sostenibilidad (Cheremisnoff, 2020).

Propuestas de Soluciones y Mejoras

Basado en los resultados de la investigación, se pueden desarrollar propuestas de soluciones y mejoras para abordar problemas específicos en ingeniería química ambiental. Estas propuestas deben ser viables y sustentarse en evidencia científica, considerando también aspectos económicos y sociales (Miller & Spoolman, 2019).

Transferencia de Tecnología y Conocimiento

La transferencia de tecnología y conocimiento es esencial para que los avances científicos tengan un impacto real en la práctica. Esto implica compartir los resultados de la investigación con la comunidad científica, la industria y los responsables de políticas, a través de publicaciones, conferencias y colaboraciones (Bozeman, 2021).

Aplicaciones y Estudios de Caso

Tratamiento de Aguas Residuales. Se centra en el desarrollo de tecnologías eficientes para la eliminación de contaminantes (García et al., 2019). Los avances recientes han mejorado la eficiencia de los procesos tradicionales y han introducido nuevas técnicas, como el uso de biocombustibles derivados de residuos líquidos para tratar y reutilizar aguas residuales (García et al., 2019).

Procesos Biológicos. El uso de microorganismos para degradar contaminantes es una técnica ampliamente estudiada. Los sistemas de lodos activados y los biorreactores de membrana son ejemplos de tecnologías biológicas (Metcalf & Eddy, 2014; Tchobanoglous et al., 2020). Un estudio de caso relevante es el uso de lodos activados para tratar aguas residuales en una planta de tratamiento municipal, evaluando la cantidad de materia orgánica eliminada. Recientemente, la investigación ha explorado la combinación de lodos activados con biorreactores de membrana para mejorar la eficiencia del tratamiento y reducir el tamaño de las instalaciones (García et al., 2021).

Tratamientos Avanzados. Técnicas como la oxidación avanzada, la electrocoagulación y la adsorción son estudiadas por su capacidad para eliminar contaminantes recalcitrantes (Moussavi & Mahmoudi, 2009; Crittenden et al., 2021). La oxidación avanzada con ozono y peróxido de hidrógeno se ha investigado para la degradación de compuestos farmacéuticos en aguas residuales, mostrando una alta efectividad en la eliminación de contaminantes emergentes y mejorando la calidad del agua tratada (Sillanpää et al., 2020).

Control de Emisiones Atmosféricas: La investigación en control de emisiones atmosféricas se enfoca en reducir la contaminación del aire causada por actividades industriales y urbanas. Las estrategias actuales incluyen la mejora de tecnologías de control y la implementación de la normativa para reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos (López et al., 2021).

Filtración y Adsorción: El uso de filtros y adsorbentes es común para eliminar partículas y gases tóxicos. Materiales como el carbón activado y las zeolitas son investigados por su efectividad (Yang, 2014; He et al., 2020). Un ejemplo es el empleo de filtros de carbón activado en plantas de incineración de residuos para capturar dioxinas y furanos. Investigaciones recientes se han centrado en desarrollar nuevos adsorbentes basados en nanotecnología para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de adsorción (Santos et al., 2021).

Tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS): CCS es una tecnología emergente para reducir las emisiones de CO₂. La investigación en este campo incluye el desarrollo de materiales y procesos para la captura eficiente de carbono (Haszeldine, 2009; Bui et al., 2018). Un estudio de caso podría analizar la implementación de CCS en una planta de energía de carbón, evaluando su

influencia en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. Los últimos estudios se han centrado en mejorar la eficiencia de captura y reducir los costos asociados con el almacenamiento de CO₂, así como en explorar nuevas técnicas de captura directa del aire (Zhou et al., 2020).

Innovaciones y Desafíos en la Metodología de Investigación

Integración de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC). La integración de TIC en la investigación ambiental ha permitido avances significativos en la recopilación, análisis y difusión de datos.

Sensores Remotos y Redes de Sensores. El uso de sensores remotos y redes de sensores permite la monitorización constante y en el momento de parámetros ambientales. Estos sistemas son cruciales para el seguimiento de la calidad del agua y del aire, proporcionando datos precisos y oportunos que facilitan la toma de decisiones informadas y el manejo eficiente de los elementos naturales (Liang et al., 2021; Martínez et al., 2022). Los avances recientes en la tecnología de sensores han permitido una mayor miniaturización y precisión, lo que mejora la capacidad de detectar contaminantes a concentraciones muy bajas y en áreas remotas. Además, la integración de datos provenientes de redes de sensores con herramientas de análisis geoespacial y modelos predictivos ha demostrado ser efectiva para el manejo y respuesta ante emergencias que involucran los recursos ambientales (Gómez et al., 2023). La implementación de estas tecnologías en tiempo real también facilita la evaluación del impacto de políticas ambientales y la efectividad de las medidas de mitigación (Rodríguez et al., 2024).

Big Data y Análisis de Datos. La habilidad de controlar los volúmenes gigantes de datos y aplicar técnicas de análisis avanzado, como el aprendizaje automático (machine learning), ha revolucionado la investigación ambiental. Estos métodos permiten la identificación de patrones y tendencias que serían difíciles de detectar mediante técnicas tradicionales (Wang et al., 2019; Morales et al., 2021). El uso de Big Data facilita el análisis de datos complejos provenientes de diversas fuentes, como sensores remotos, redes de monitoreo y datos satelitales, para ofrecer una visión más concreta y precisa de los fenómenos ambientales. Recientemente, se ha destacado el uso de algoritmos de aprendizaje automático para predecir eventos ambientales extremos, como inundaciones o incendios forestales, basándose en datos históricos y en tiempo real (Rodríguez et al., 2022). Estas técnicas no solo mejoran la capacidad para anticipar y mitigar desastres ambientales, sino que también optimizan la gestión de recursos naturales y el implemento de políticas ambientales más efectivas (Gómez et al., 2023).

Enfoques Interdisciplinarios. La naturaleza compleja de los problemas ambientales requiere un enfoque interdisciplinario que integre conocimientos de diversas áreas, incluyendo la química, la biología, la ingeniería y las ciencias sociales.

Colaboraciones Multidisciplinarias. Las colaboraciones entre investigadores de diferentes disciplinas son esenciales para abordar problemas ambientales de manera holística. Estas colaboraciones permiten integrar diversos enfoques y conocimientos, optimizando las soluciones a problemas complejos. Por ejemplo, un estudio sobre la remediación de suelos contaminados puede involucrar a químicos, biólogos, ingenieros y sociólogos para evaluar tanto los aspectos técnicos como los impactos sociales de las tecnologías propuestas (NRC, 2017; González et al., 2019). Recientemente, se ha destacado la importancia de estas colaboraciones en el desarrollo de estrategias integradas para la gestión de residuos y la restauración de ecosistemas, subrayando cómo la sinergia entre disciplinas puede llevar a soluciones más efectivas y sostenibles (Martínez et al., 2021).

Educación y Capacitación: La formación de profesionales en ingeniería química ambiental debe incluir una educación interdisciplinaria que prepare a los estudiantes para trabajar en equipos diversos y abordar problemas complejos desde múltiples perspectivas. La inclusión de disciplinas complementarias en los programas educativos, como la gestión ambiental, la biotecnología y la ingeniería de procesos, es crucial para preparar a los futuros ingenieros para enfrentar desafíos multidimensionales (Zaman et al., 2020; Pérez et al., 2022). Además, se ha propuesto la integración de prácticas profesionales y proyectos colaborativos en los currículos académicos para fomentar habilidades prácticas y de resolución de problemas en contextos reales (Vega et al., 2023).

Variables

Es cualquier característica, factor o elemento del entorno natural o de procesos ambientales que puede ser medida o evaluada para analizar un fenómeno relacionado con la gestión ambiental, el impacto ecológico, o la eficiencia de soluciones sostenibles (Rodríguez et al., 2021).

Tipos de variables según su naturaleza en la ingeniería ambiental.

- **Variables cualitativas.** Representan características o atributos no numéricos que describen condiciones o estados de un sistema ambiental (Zúñiga et al., 2023). *Ejemplos:* Tipo de suelo (arenoso, arcilloso, rocoso), clase de ecosistema (bosque tropical, tundra), categoría de residuos (peligrosos, no peligrosos).

- **Variables cuantitativas.** Son numéricas y describen magnitudes o cantidades en sistemas ambientales (Zúñiga et al., 2023). *Ejemplos:* Niveles de dióxido de carbono en la atmósfera, concentración de metales pesados en el agua, temperatura del suelo.
- Tipos de variables según su función en estudios ambientales:
- **Variable independiente.** Es el factor que se manipula o varía para estudiar su efecto en el entorno ambiental o en otro fenómeno relacionado. En los estudios ambientales, puede representar acciones o intervenciones humanas (Arias et al., 2021). Ejemplo: En un estudio sobre el impacto de la deforestación en la biodiversidad, la tasa de deforestación es la variable independiente.
- **Variable dependiente.** Es la variable que se mide para detectar los efectos de la variable independiente. En la ingeniería ambiental, suele representar indicadores de calidad ambiental o de la salud del ecosistema (Arias et al., 2021). Ejemplo: En el mismo estudio, la biodiversidad (número de especies presentes) sería la variable dependiente.
- **Variable moderadora.** Influye en la relación entre la variable independiente y dependiente, modificando su impacto en un contexto ambiental. Ejemplo: La cantidad de precipitaciones podría moderar el impacto de la deforestación sobre la erosión del suelo (Arias et al., 2021).

Capítulo 3

Planteamiento Metodológico

Metodología de la investigación

Investigación cuantitativa

La investigación cuantitativa en ingeniería ambiental se centra en el uso de métodos físicos y matemáticos para estudiar y evaluar los efectos de los eventos en el medio ambiente. Esta perspectiva permite identificar relaciones causales entre variables como las concentraciones ambientales de contaminantes y sus efectos sobre la salud humana o de los ecosistemas.

Dentro de la ingeniería ambiental, el estudio de las variables en cuestión es fundamental para generar cifras y modelos de predicción que asistan en la toma de decisiones con información. Por ejemplo, el estudio de regresión puede ser usado para adivinar el efecto de los productos industriales sobre el agua o el aire. Las pruebas de hipótesis tienen la capacidad de determinar si los métodos de mitigación utilizados están siendo provechosos.

La información acerca de los estudios cualitativos del medio ambiente se suele conseguir a través de investigaciones cuantitativas que se llevan a cabo en laboratorios, o a través de cuestionarios que se utilizan para conocer la opinión pública acerca de los riesgos del medio ambiente. El estudio de los documentos también es habitual en esta esfera, ya que se revelan investigaciones preliminares y normas jurídicas para apoyar nuevas investigaciones.

Tipos de investigación

Entre los tipos de investigaciones relacionadas con la ingeniería ambiental se puede destacar que son estudios de campo que recolectan datos directamente del medio natural, como el monitoreo de la calidad del aire o del agua, y también son estudios de laboratorio que reproducen condiciones ambientales controladas. Estudiar casos específicos, como por ejemplo cómo se degradan los contaminantes.

Niveles de investigación

Dentro de la categoría de estudios, los análisis en torno a la ingeniería ambiental son posible que sean descriptivos, en donde se describe la propiedades y particularidades de una circunstancia ambiental, como la distribución espacial de algún tipo de contaminación; correlativos, en donde se busca relación entre variables, como la correlación entre el urbanismo y la baja calidad del aire; y explicativos, en donde se indagan las causas de ciertas circunstancias ambientales.

En conjunto, la postura cuantitativa dentro del ámbito de la ecología atmosférica brinda una base firme para entender y solucionar los problemas ambientales a través del empleo de métodos científicos exactos

Técnicas e instrumentos

En la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental, la elección de técnicas e instrumentos es crucial para obtener datos precisos y relevantes. Esta sección explorará los métodos más comunes y los equipos utilizados en la recopilación y análisis de información dentro del campo.

Recolección de Datos Experimentales

Métodos Experimentales:

Reactores de Laboratorio: Uso de reactores de flujo continuo y discontinuo para estudiar reacciones químicas bajo condiciones controladas.

Equipos de Cromatografía y Espectrometría: Análisis de compuestos químicos presentes en muestras ambientales, como el análisis de contaminantes en el aire y el agua.

Bioreactores: Evaluación del tratamiento de residuos biológicos y producción de biogás.

pH-metros y Conductímetros: Medición de las propiedades químicas de soluciones acuosas.

Espectrofotómetros UV-Vis: Cuantificación de contaminantes específicos en muestras de agua y aire.

Simulación y Modelado Computacional

Software de Simulación:

Aspen Plus y HYSYS: Simulación de procesos químicos industriales y evaluación de la eficiencia energética.

MATLAB y Simulink: Modelado matemático de fenómenos de transporte y reacción química.

Modelo Ambiental:

Análisis de Ciclo de Vida (ACV): Evaluación del impacto ambiental de procesos y productos desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

Simulación de dispersión de contaminantes: Uso de modelos matemáticos para prever la dispersión de contaminantes en el aire y el agua.

Estudios de campo

Instrumentos de Muestreo Ambiental:

Bombas de muestreo de aire: Recolección de muestras de aire para el análisis de calidad del aire.

Colectores de muestras de agua: Obtención de muestras de agua para análisis de contaminación.

Sensores y Monitores de Calidad de Aire:

Sensores de Gases: Detección de compuestos volátiles y gases tóxicos en el ambiente.

Monitores de Partículas en Suspensión: Medición de partículas finas y gruesas en la atmósfera.

Técnicas estadísticas:

Análisis Multivariado: Identificación de patrones en grandes conjuntos de datos ambientales.

Modelos de Regresión: Predicción de comportamientos y tendencias en procesos químicos.

Herramientas de Análisis:

SPSS y R:Software: Software para análisis estadístico de datos experimentales y de campo.

Excel: Herramientas básicas de análisis y visualización de datos.

La encuesta

Las encuestas son herramientas esenciales para recopilar datos cualitativos y cuantitativos en la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental. Permiten entender las percepciones, actitudes y conocimientos de las personas sobre temas ambientales específicos. Aquí se describe cómo diseñar y utilizar encuestas efectivas en este campo.

Diseño de Encuestas

Objetivo de la Encuesta:

Identificación de Problemas Ambientales: Comprender las preocupaciones de la comunidad sobre la contaminación y el manejo de residuos.

Evaluación de Políticas y Prácticas Ambientales: Recoger opiniones sobre la efectividad de políticas de sostenibilidad y prácticas industriales.

Tipos de Encuestas:

Encuestas de Opinión: Recopilación de percepciones de las partes interesadas sobre la gestión ambiental.

Encuestas de Conocimiento: Evaluación del nivel de conocimiento sobre prácticas de sostenibilidad y tecnologías limpias.

Estructura de la Encuesta

Preguntas Abiertas: Permiten respuestas detalladas y personales.

Preguntas Cerradas: Ofrecen opciones de respuesta específicas para facilitar el análisis cuantitativo.

Metodología de Recolección de Datos

Muestreo Aleatorio: Selección de participantes al azar para garantizar la representatividad de la población.

Muestreo Estratificado: Dividir la población en subgrupos y seleccionar muestras de cada uno para obtener diversidad en las respuestas.

Métodos de Aplicación:

Encuestas en Línea: Uso de plataformas digitales para llegar a un amplio público.

Encuestas Presenciales: Entrevistas cara a cara para obtener respuestas más detalladas y contextuales.

Análisis de Datos de Encuestas

Procesamiento de Datos:

Codificación de Respuestas: Transformar respuestas cualitativas en datos cuantificables para análisis estadístico.

Análisis de Frecuencia y Tendencias: Identificar patrones comunes y tendencias en las respuestas.

Interpretación de Resultados:

Relación con Hipótesis: Evaluar cómo los resultados de la encuesta respaldan o refutan las hipótesis planteadas.

Implicaciones para la Ingeniería Química Ambiental: Extraer conclusiones relevantes para la práctica y el desarrollo de políticas ambientales.

Observación

La observación es una técnica cualitativa fundamental en la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental. Permite a los investigadores obtener información directa y detallada sobre los fenómenos estudiados, facilitando el análisis de procesos y comportamientos en entornos naturales e industriales.

Tipos de Observación

Observación Directa:

Descripción: Los investigadores observan y registran fenómenos ambientales en su contexto natural, sin intervenir.

Aplicación: Monitoreo de ecosistemas, análisis de impactos ambientales en tiempo real.

Observación Participativa:

Descripción: El investigador se involucra en el entorno estudiado, interactuando con las personas y el entorno.

Aplicación: Evaluación de prácticas industriales y su impacto ambiental en colaboración con trabajadores y comunidades.

Observación Estructurada:

Descripción: Uso de guías y listas de verificación para observar aspectos específicos de un fenómeno.

Aplicación: Inspección de procesos de tratamiento de aguas residuales para evaluar su eficiencia.

Observación No Estructurada:

Descripción: Observación abierta y flexible que permite captar información sin restricciones.

Aplicación: Exploración de nuevos fenómenos ambientales donde no se cuenta con información previa.

Instrumentos de Observación

Cámaras y Videograbadoras: Documentación visual de procesos y condiciones ambientales para análisis posterior.

Cuadernos de Campo: Registro de observaciones cualitativas y cuantitativas durante estudios de campo.

Drones y Sensores Remotos: Captura de datos en áreas de difícil acceso para monitoreo ambiental y evaluación de impactos.

Metodología de Observación

Planificación de la observación: Establecer qué aspectos serán observados y por qué y elegir ubicaciones representativas y relevantes para el estudio.

Recolección de Datos: Documentación precisa de datos cualitativos y cuantitativos y uso de imágenes para complementar y corroborar observaciones escritas.

Análisis de Datos de Observación

Interpretación Cualitativa: Análisis de comportamientos y tendencias observadas y la evaluación de cómo las observaciones se alinean con las expectativas iniciales.

Relación con la Ingeniería Química Ambiental: Uso de observaciones para mejorar procesos industriales y prácticas sostenibles e identificación de áreas de mejora en la gestión ambiental.

Entrevista

Es una técnica que se recolectan datos lo cual está dado a través de un proceso de comunicación, en donde el entrevistador realiza preguntas a la otra persona que vendría ser el entrevistado, esta comunicación busca lograr un fin de obtener información concisa, experiencias específicas o conocimientos novedosos. La entrevista se clasifica de acuerdo al entrevistado, si es estructurada hace referencia a todas las personas a quien serán entrevistados, en cambio si no es estructurado, es porque están dirigidas a un rubro específico. Por otra parte, estas se llevan a cabo por redes sociales, teléfonos móviles, o por personas ya sea por cualquier medio todos logran obtener información detallada y contundente sobre los sentimiento, experiencias vividas o sentimientos de cada individuo.

Entrevista Estructurada

En este tipo de entrevista se esperan preguntas dicotómicas, centradas en la que el entrevistado responda de manera concisa sin ampliar ni divagar la información de respuesta. En este tipo de entrevista es recomendable enumerar los valores quien en su posterior análisis permitirá evaluar de forma cuantitativa y se permita unificar el mensaje a través del criterio del entrevistado, Así mismo se considera como una variante técnica mecánica ya que la persona se dedica responder e incluso sin el entrevistado. Las preguntas son formuladas en un orden específico tras un enfoque secuencial que asegurar que todos los entrevistados sean evaluados de manera consistente y justa, y al finalizar la entrevista se compare las respuestas y sean más sencillo.

Ficha de entrevista

A través de este instrumento se organiza y registra la información obtenida durante una entrevista, siguiendo un fin de adquirir información para un posterior estudio, En este caso puede ser editado por la persona encargada del analista o puede realizarse de manera manual precisando poca variedad. Por otro lado es de suma importancia la participación del investigador experto, ya que de esto depende el resultado que se quiere lograr y no análisis variables similares o iguales

Entrevista a profundidad

Esta técnica radica un enfoque cualitativo, puesto que se centra en adquirir información que estén en referencia a valoraciones, sentimiento del entrevistado, disgusto, Con este tipo de entrevista se busca llegar más rápido a las posibles soluciones de las dificultades que se enfrenta el investigador. Por otra parte el investigador debe mantener algunas cualidades personales la cual les servirá de mucho en lograr los objetivos requeridos, el campo de mayor influencia y uso de esta técnica es la comunidad social y la antropología.

Características. las características de mayor relevancia en este tipo de técnica están dadas (La flexibilidad del proceso, interacción constante en entre las personas interrogativas, mantener una misma aislación en las asignaciones de las preguntas y finalmente lograr soluciones a partir de los previsto durante la entrevista)

Análisis de Documentos

A través de esta técnica se busca adquirir datos de un contenido o revisión de un documental, que estos pueden ser de procedencia primaria los cuales ayudan al investigador recopilar datos más concisos y de mayor interpretación al realizar el análisis del estudio. Por otra parte, cabe resaltar que en la extracción de información documentada se extrae lo más importante los cuales seguirán una secuencia de clasificación de acuerdo a la visión del investigador. Los documentos de trabajo pueden ser informes físicos, electrónicos, audiovisuales entre otros.

Análisis externo o Formal. Nos permite identificar cual es el primer documento a analizar

Análisis de contenidos internos. Busca interpretar el mensaje o temática que el investigador lo requiera para luego ver los beneficios que les pueden brindar cada documento. Así mismo los documentos a analizar deben mantener una vigencia de cinco años siendo los más recientes más actualizados y nos pueden permitir lograr proyecciones subjetivas de acuerdo a lo que se busca

Ficha de registro documental. Es un instrumento que permite manifestar un análisis de un proceso sistemático basado en características cognitivas establecidas por el investigador. Cabe resaltar que a través de este instrumento se recolecta datos de fuentes confidenciales, en la actualidad estas fichas son manejables de acuerdo a lo que el investigador lo requiera ya que no hay un procedimiento o modelo a seguir.

Focus Group

Este término se utiliza en lo general para la realización de un estudio de mercadeo, en la cual el punto focal a seguro es interrelacionar con personal que

deseen ideas de un producto específico. La persona que está liderando este tipo de grupo debe mantener una formación específica y un amplio conocimiento en el campo del mercado. Las personas quienes constituyen deben estar comprendidos entre cinco a diez, la cual será una cantidad inicial para desarrollar sus actividades en relación a la especialización del tema. Por otra parte, la persona que ejerce el cargo no debe ser elegida aleatoriamente o al azar, más sino se evaluarán las condiciones y factores que sean los más adecuados para alinearse a la línea de servicios y lograr un claro y conciso objetivo.

Rúbrica de evaluación

La rúbrica diseñada para evaluar las competencias de los estudiantes en la elaboración de un trabajo de investigación centrado en la metodología aplicada a la ingeniería química ambiental abarca indicadores específicos y niveles de desempeño, alineándose con el enfoque establecido por Garcés y Garcés (2015).

Figura 1. Rúbrica de evaluación de trabajos investigativos

RÚBRICA DE EVALUACIÓN					
CRITERIO	EXCELENTE (4)	BUENO (3)	SATISFACTORIO (2)	INSUFICIENTE (1)	PUNTAJE
Claridad de Objetivos	Los objetivos están claramente definidos y son específicos.	Los objetivos están definidos, pero podrían ser más claros.	Los objetivos son vagos y poco específicos.	Los objetivos no están definidos o son irrelevantes.	
Revisión Bibliográfica	Exhaustiva, actualizada y relevante.	Adecuada, aunque podría incluir más fuentes recientes.	Limitada, con fuentes que no siempre son pertinentes.	Inadecuada o inexistente.	
Justificación del Problema	Justificación clara y convincente basada en evidencia sólida.	Justificación adecuada, aunque podría ser más robusta.	Justificación débil, basada en evidencia limitada.	Justificación incompleta o no respaldada.	
Diseño Metodológico	Diseño detallado y bien estructurado, con metodología apropiada.	Diseño adecuado, pero con algunos aspectos que podrían mejorarse.	Diseño general, con falta de detalle en algunos aspectos.	Diseño inapropiado o mal estructurado.	
Recopilación y Análisis de Datos	Métodos de recopilación y análisis adecuados y rigurosos.	Métodos adecuados, aunque podrían mejorarse en algunos aspectos.	Métodos generales, con falta de rigor en el análisis.	Métodos inadecuados o mal aplicados.	
Resultados y Discusión	Resultados bien presentados y discutidos en profundidad.	Resultados adecuados con una discusión aceptable.	Resultados presentados de manera básica, con discusión limitada.	Resultados mal presentados o discutidos.	
Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones claras y bien fundamentadas, con recomendaciones útiles.	Conclusiones adecuadas, aunque las recomendaciones podrían ser más específicas.	Conclusiones generales y recomendaciones poco prácticas.	Conclusiones y recomendaciones poco claras o ausentes.	
Originalidad e Innovación	Trabajo altamente original y con aportes significativos.	Trabajo original, con algunos aportes relevantes.	Trabajo poco original, con aportes limitados.	Trabajo sin originalidad o aportes significativos.	
Presentación y Organización	Presentación clara, organizada y profesional.	Presentación adecuada, con algunas áreas de mejora.	Presentación básica, con falta de organización en algunas partes.	Presentación desorganizada o poco profesional.	

Fuente: elaboración propia.

Test

Una Test se define como una evaluación diseñada para determinar determinadas características de las personas. Sin embargo, en la literatura psicométrica los tests, también llamados tests psicológicos, tienen un significado especial. Estas pruebas pretenden ser situaciones experimentales que provocan una respuesta conductual; Se denominan experimentales porque exponen al individuo a una situación concreta a la que debe responder.

Las pruebas se pueden utilizar en una variedad de contextos, por ejemplo, en un entorno corporativo donde se utilizan para seleccionar personal o evaluar sus habilidades en un campo laboral específico; determinar la orientación profesional de la persona; o en un entorno escolar para, entre otras cosas, identificar los problemas o dificultades de aprendizaje de los niños.

La aplicación y evaluación de la prueba debe ser realizada por un profesional experto en el tema en cuestión, ya que su preparación y conocimientos permiten obtener resultados precisos. Existen tres categorías principales de pruebas: psicológicas, proyectivas y psicométricas, y se utilizan dependiendo del área y problema analizado.

En base a la información proporcionada, se podría realizar un test psicométrico enfocado en evaluar las competencias y habilidades necesarias para realizar investigaciones en el ámbito de la ingeniería química ambiental. Este test debe tener el propósito de medir la capacidad de los estudiantes o profesionales para aplicar metodologías de investigación en este campo. Se incluyen preguntas que evalúan el entendimiento de conceptos metodológicos, la habilidad para analizar críticamente estudios científicos, la capacidad de diseñar y llevar a cabo experimentos, y la competencia para interpretar y comunicar resultados de manera efectiva. Además, se enfoca en la evaluación de la habilidad para resolver problemas metodológicos y considerar los riesgos ambientales en el contexto de procesos químicos industriales. Este enfoque permite identificar y valorar las aptitudes clave para llevar a cabo investigaciones rigurosas y relevantes en la ingeniería química ambiental.

Población y muestra

Población

La población de investigación es el grupo de personas o elementos sobre los que se quiere aprender o sacar conclusiones en un estudio. No importa

cuántos sean, lo importante es que estén bien definidos y sean accesibles para el investigador. Lo que buscamos es que representen bien al grupo más grande del que queremos saber y que podamos medir y analizar la información de manera confiable.

Dependiendo del estudio, la población puede ser grande o pequeña, fácil o difícil de acceder, y puede cambiar o mantenerse estable con el tiempo. Por ejemplo, podría tratarse de todos los estudiantes de una escuela, los pacientes de un hospital o los usuarios de una plataforma en línea.

Muestreo

El muestreo es una herramienta que los investigadores usan para estudiar un grupo más pequeño dentro de una población más grande. Esto les permite obtener información valiosa sin tener que analizar a todos. Dependiendo del tipo de estudio y de la población, se pueden utilizar diferentes métodos de muestreo, como elegir personas al azar, dividir la población en grupos, o seleccionar según ciertas características.

Lo importante es que la muestra seleccionada refleja bien a la población general para que los resultados sean fiables y útiles. El tamaño de la muestra, cómo se eligen los participantes, y la precisión en la recolección de datos son factores clave para asegurar que los resultados sean confiables. En resumen, el muestreo es una forma eficiente y práctica de obtener información precisa sin tener que estudiar a cada individuo de una población grande.

Muestra

La muestra de investigación es un grupo seleccionado de una población que se estudia para hacer inferencias sobre toda la población. Para que los resultados sean precisos, la muestra debe ser representativa y de tamaño adecuado. Existen muestras probabilísticas, donde todos tienen la misma probabilidad de ser elegidos, y no probabilísticas, seleccionadas según características específicas. La muestra se divide en unidad de análisis (el objeto de estudio) y unidad de muestreo (el medio para obtener datos). Cuando ambas coinciden, se refiere simplemente como “muestra”.

Capítulo IV

La Investigación Experimental Aplicada a la Ingeniería Química Ambiental

Inicios de la investigación medioambiental

La investigación ambiental ha pasado por una notable evolución desde sus inicios, reflejando un aumento constante en la conciencia sobre la conexión crucial entre las personas y su medio ambiente natural. Los primeros estudios en este campo surgieron durante la Revolución Industrial, cuando los efectos negativos de la industrialización se hicieron evidentes (González, 2004). Durante este periodo, científicos y naturalistas comenzaron a documentar la influencia de las acciones humanas en el entorno natural, identificando algunos problemas como la contaminación que llega a producirse tanto en el agua como en el aire, así como la disminución de la biodiversidad.

Con el tiempo, el ámbito de la investigación ambiental se ha expandido significativamente, abarcando disciplinas como la ecología, la biología, la economía y las ciencias sociales (Perez, 2019). Las tecnologías modernas, llegan a realizar análisis de grandes volúmenes de datos, esto permite tener un mayor entendimiento de forma más clara y precisa de los problemas ambientales, facilitando el desarrollo de soluciones potenciales.

Por otro lado, el avance de la ingeniería química ambiental ha sido significativo, impulsado por la creciente preocupación por los problemas

medioambientales asociados a la actividad industrial (Massolo, 2015). En sus primeras etapas, la investigación en este campo se centró en entender y mitigar los efectos adversos de los procesos químicos sobre el entorno natural. A medida que la industrialización avanzaba, también lo hacía la conciencia sobre los efectos negativos de la contaminación y la degradación ambiental, lo que motivó a la comunidad científica a desarrollar metodologías experimentales sistemáticas para estudiar estos fenómenos.

Inicialmente, la investigación se enfocó en identificar contaminantes y su dispersión en el aire, agua, y suelo. Sin embargo, con el tiempo, el campo se expandió para incluir la degradación de los ecosistemas, los impactos con relación a la salud que puede presentar en el ser humano, y el desarrollo de tecnologías para prevenir o reducir la contaminación en su origen. Así, la investigación experimental se convirtió en un pilar fundamental de la ingeniería química ambiental, facilitando el diseño de procesos más sostenibles y eficientes.

El enfoque contemporáneo de la investigación ambiental va más allá de los aspectos puramente ecológicos; también incorpora conocimientos provenientes de las ciencias sociales. Este estudio se enfoca en promover la sostenibilidad al utilizar de manera consciente los recursos físicos, humanos, financieros y recursos naturales (Angel, 2020). En este contexto, se abordan problemas ambientales en estrecha relación con cuestiones sociales, abarcando disciplinas como la sociología, antropología y geografía.

La meta central radica en diseñar enfoques, procedimientos y métodos innovadores que contribuyan a la gestión sostenible de los recursos naturales en un entorno dinámico y en ecosistemas que están afrontando desafíos cada vez mayores como consecuencia del cambio climático, sumados a las crecientes presiones derivadas del mercado global. Según Domínguez et al. (2019), la investigación ambiental puede llegar a presentarse como una mezcla compleja de búsquedas de informes de diferentes nombres de autores científicos con una diversidad de objetivos. Así, la investigación ambiental va más allá del estudio puramente ecológico, e incluye inevitablemente la consideración de los seres humanos, tanto en entornos rurales como urbanos, en un mundo cada vez más globalizado.

Estos aspectos representan sólo una fracción de las muchas áreas que pueden explorarse mediante la investigación experimental en ingeniería química ambiental. Cada campo tiene el potencial de generar conocimientos valiosos y soluciones innovadoras, que pueden transformar nuestra interacción con el entorno, promoviendo un desarrollo sostenible y responsable.

Temas que se podrían investigar

Avances en Tecnologías de Remediación. Una línea crucial de investigación se enfoca en el desarrollo y perfeccionamiento de técnicas avanzadas para la descontaminación de suelos. Según Litter (2022), este campo incluye métodos innovadores como la biorremediación, que utiliza microorganismos para descomponer contaminantes, y la fitorremediación, que emplea plantas para absorber y transformar sustancias tóxicas. Estas tecnologías buscan no solo eliminar los contaminantes, sino también restaurar la calidad del suelo y prevenir futuros daños ambientales.

Por otro lado, la nanorremediación ha emergido como un área de creciente interés. Esta técnica utiliza nanopartículas para descomponer o inmovilizar contaminantes en el suelo, ofreciendo una solución potencialmente más eficiente y rápida.

Optimización de métodos de tratamiento de aguas residuales. Investigaciones en esta área se enfocan en optimizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Su propósito es diseñar métodos más efectivos para eliminar contaminantes, tales como lo son los productos farmacéuticos. Al mismo tiempo que se optimiza el uso de energía en los sistemas de purificación. Esta investigación es fundamental para asegurar que el agua tratada alcance los criterios de calidad establecidos y no constituya un peligro para la salud de la población ni para el entorno natural (Reyes, 2020).

Otra línea de investigación dentro de este ámbito incluye el desarrollo de tecnologías avanzadas de membranas y procesos biológicos que pueden mejorar la eliminación de contaminantes que pueden llegar a ser difíciles de tratar. Además, se está explorando la recuperación de recursos a partir de las aguas grises, que pueden ser reutilizados en el sector de la agricultura, contribuyendo así a una mejor sostenibilidad y promoviendo un diseño que garantice una economía circular.

Tecnologías para la Captura y Almacenamiento de Carbono. La investigación en este ámbito se enfoca en el desarrollo de innovadoras tecnologías destinadas a capturar CO₂ en instalaciones industriales, tales como plantas que producen mayor energía. El objetivo de estas tecnologías es interceptar el CO₂ antes de que sea liberado al aire y lograr almacenarlo. Esta estrategia juega un papel crucial en la disminución de los gases de efecto invernadero y en la mitigación de los efectos del cambio climático. (Saldívar et al., 2017).

Se están explorando varias metodologías, entre ellas la captura directa del aire (DAC), que aspira el CO₂ directamente de la atmósfera, y el uso de materiales de captura avanzados, como sorbentes sólidos y solventes líquidos optimizados.

Asimismo, el almacenamiento geológico de carbono, que implica la inyección del CO₂ capturado en formaciones subterráneas, está ganando tracción como una opción viable para la reducción a largo plazo de las emisiones globales que pueda producir el carbono.

Innovación en Materiales Ecológicos. Este tema de investigación se enfoca en el diseño y desarrollo de materiales que tienen un menor impacto ambiental. Ejemplos incluyen biopolímeros, que son biodegradables y derivados de fuentes renovables, y catalizadores ecológicos que mejoran la eficiencia de los procesos químicos sin generar subproductos nocivos (Gutiérrez, 2021). La creación de estos materiales no solo ayuda a reducir la contaminación, sino que también promueve prácticas industriales más sostenibles.

Además de los biopolímeros, se están investigando materiales tales como lo son el grafeno y entre otros casos las nanocelulosas, que no solo son más sostenibles, sino que también ofrecen mejoras significativas en las propiedades mecánicas en comparación con los materiales tradicionales. Estos avances en materiales ecológicos tienen el potencial de transformar diversas industrias, desde el embalaje hasta la construcción, proporcionando alternativas más seguras y sostenibles que cumplen con altos estándares de rendimiento.

Evaluación del Ciclo de Vida de Productos Químicos En este campo, los estudios se enfocan en examinar de manera integral todo el ciclo de vida de los productos químicos, abarcando desde su producción inicial hasta su eliminación final. Este análisis exhaustivo busca identificar y mitigar los impactos ambientales a lo largo de cada etapa del proceso, asegurando una comprensión completa de las implicaciones ecológicas asociadas con estos productos. El objetivo es identificar y minimizar los impactos ambientales en cada etapa del ciclo de vida, el procesamiento, el uso y la eliminación de los productos (Sánchez et al., 2012). Esta evaluación integral ayuda a desarrollar estrategias para reducir la huella ecológica y promover prácticas de producción más responsables.

Desarrollo de Tecnologías de Energía Renovable. El estudio en este ámbito se concentra en la optimización y el desarrollo de tecnologías destinadas a producir energía utilizando fuentes renovables. Esto incluye la energía solar, eólica y de biomasa, que ofrecen alternativas sostenibles frente a las fuentes de energía fósiles. Los avances en estas tecnologías buscan aumentar su eficiencia, reducir costos y optimizar la incorporación de estas fuentes de energía en la infraestructura eléctrica, facilitando de este modo el avance hacia un sistema energético más puro y sustentable (Pendón et al., 2017).

También se están explorando las posibilidades del hidrógeno verde como un vector energético clave para el futuro, proporcionando una solución limpia y versátil para la descarbonización de sectores difíciles de electrificar, como el transporte pesado y la industria.

Gestión y restauración de ecosistemas degradados. Este enfoque de investigación se concentra en el desarrollo de técnicas efectivas para restaurar ecosistemas que han sufrido degradación debido a actividades humanas, como la deforestación, la explotación minera y la agricultura intensiva. Las investigaciones actuales priorizan el desarrollo de estrategias de restauración ecológica, incluyendo la reforestación con especies autóctonas, la recuperación de suelos afectados por la erosión y la rehabilitación de humedales (Leal, 2021). Estas acciones tienen como objetivo principal la recuperación de la biodiversidad perdida y la restauración de los servicios ecosistémicos que son fundamentales para el equilibrio ambiental.

Además, se están considerando enfoques de restauración asistida que integran la bioingeniería y la reintroducción de especies esenciales para fomentar la recuperación natural de los ecosistemas. Estas metodologías no solo contribuyen a restaurar la estructura y funcionalidad de los hábitats, sino que también refuerzan su capacidad de resiliencia ante posibles perturbaciones futuras, como las derivadas del cambio climático.

Desarrollo de sistemas de agricultura sostenible. La investigación en el ámbito de la agricultura sostenible se dirige hacia la creación y perfeccionamiento de prácticas agrícolas que reduzcan significativamente el impacto ambiental. Ejemplos de estas prácticas incluyen la agricultura de conservación, la agroforestería y el manejo integrado de plagas. Los estudios en esta área buscan optimizar el uso de recursos vitales, como el agua y los nutrientes, mientras se mantiene o incrementa la productividad agrícola. Al mismo tiempo, se presta especial atención a la protección de la salud del suelo, asegurando su fertilidad a largo plazo y evitando la degradación que podría comprometer su uso futuro (Villalobos y Fereres, 2017).

Además, la integración de tecnologías avanzadas, como los sistemas de riego automatizados y el monitoreo de cultivos mediante drones, está revolucionando la gestión agrícola. Estas innovaciones facilitan una administración más eficaz y sostenible de los recursos naturales, al disminuir la dependencia de insumos químicos y reducir la huella ecológica de la actividad agrícola. Este enfoque es fundamental para asegurar una producción de alimentos adecuada y sostenible que pueda satisfacer las necesidades de una población en continuo crecimiento.

Monitoreo y Control de la Contaminación Atmosférica. La investigación en este campo se enfoca en el desarrollo de tecnologías y métodos avanzados para el monitoreo continuo de la calidad del aire y la detección temprana de contaminantes peligrosos, asimismo, se investigan estrategias para controlar y reducir estas emisiones, optimizando procesos industriales y promoviendo políticas ambientales más estrictas (Bogo, 2004).

Por otro lado, la utilización de sensores portátiles y redes de monitoreo avanzadas ha permitido un análisis más exhaustivo y en tiempo real de la calidad del aire. Esto facilita la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades. Asimismo, la combinación de estos datos con modelos atmosféricos sofisticados está enriqueciendo nuestra comprensión de la dispersión e impacto de los contaminantes tanto a nivel local como global, lo cual resulta crucial para salvaguardar la salud pública y el medio ambiente.

Casos de estudio

La investigación experimental en la ingeniería química ambiental se enriquece significativamente a través de la exploración de casos de estudio concretos que ejemplifican cómo la ciencia aplicada puede abordar problemas ambientales complejos. Los casos de estudio permiten a los investigadores y profesionales observar de manera detallada el desarrollo y la implementación de soluciones a problemas específicos, proporcionando lecciones valiosas y metodologías que pueden replicarse o adaptarse en otros contextos.

A continuación, se presentan y analizan en profundidad varios casos de estudio en la investigación ambiental, ilustrando la diversidad y la complejidad de los desafíos abordados por la ingeniería química ambiental.

Caso de Estudio 1. Remediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados

Contexto y problema de estudio. La contaminación del suelo por metales pesados es un problema crítico en muchas regiones mineras del mundo, donde los procesos industriales han dejado residuos tóxicos que afectan gravemente al medio ambiente y a la salud humana. Shangrao, ubicada en la provincia de Jiangxi, China, es una de estas regiones afectadas, donde la actividad minera ha resultado en niveles peligrosamente altos de cobre (Cu) y zinc (Zn) en los suelos. Este estudio, realizado por Feng et al. (2023), exploró un enfoque innovador y sostenible para la remediación de suelos contaminados, basado en la investigación experimental.

Metodología Experimental. La investigación experimental aplicada en este estudio se centró en un enfoque de remediación bipolar, que combinó biolixiviación e inmovilización, para tratar los suelos altamente contaminados de Shangrao.

El proceso comenzó con la inmovilización de los metales mediante la aplicación de bacterias endófitas, capaces de adsorber Cu y Zn a través de sus

sustancias poliméricas extracelulares (EPS). Posteriormente, se implementó un proceso de biolixiviación para eliminar los metales pesados del suelo.

Resultados y Discusión. Los resultados del proceso de remediación bipolar fueron altamente positivos. Se logró eliminar el 97,923% del Cu y el 96,387% del Zn disponible en el suelo contaminado. Además, la fertilidad del suelo mejoró significativamente después del tratamiento, lo que sugiere que el método no solo es efectivo en la eliminación de contaminantes, sino que también contribuye a la recuperación ecológica del área afectada.

La remediación bipolar de suelos contaminados con Cu y Zn en Shangrao es un ejemplo sobresaliente de cómo la investigación experimental puede conducir a soluciones prácticas y respetuosas con el medio ambiente.

Este caso de estudio subraya la importancia crucial de la investigación experimental en la ingeniería química ambiental. La capacidad de desarrollar y aplicar nuevas tecnologías para resolver problemas complejos de contaminación es vital para la protección del medio ambiente y la salud pública. La investigación experimental permite a los científicos e ingenieros probar y refinar métodos innovadores en condiciones controladas antes de su implementación a gran escala, asegurando que sean tanto eficaces como sostenibles.

Caso de Estudio 2. Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) en Plantas de Energía

Contexto y Problema. La emisión de dióxido de carbono (CO₂) de las plantas de energía que queman combustibles fósiles es una de las principales contribuyentes al cambio climático. Un caso de estudio significativo se centró en la implementación de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS) en una planta de energía de carbón en los Estados Unidos. El objetivo fue reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, capturando directamente en la fuente y almacenando de manera segura en formaciones geológicas subterráneas ese gas.

Metodología Experimental. El experimento involucró la instalación de un sistema piloto de captura de carbono en una sección de la planta de energía. Se utilizaron tecnologías de absorción química, donde el CO₂ se capturaba mediante solventes líquidos y luego se comprimía y transportaba a un sitio de almacenamiento subterráneo. Los ingenieros realizaron el monitoreo de la eficiencia de la captura, la pureza del CO₂ almacenado y la estabilidad del almacenamiento a largo plazo mediante una serie de sensores y modelos geológicos.

Resultados y Análisis. El estudio mostró que la tecnología CCS era capaz de capturar hasta el 90% del CO₂ emitido por la planta, lo que representaba una

reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el análisis también reveló desafíos importantes, como el alto costo operativo, la necesidad de solventes más eficientes y la incertidumbre sobre la estabilidad a largo plazo del almacenamiento geológico. Este caso de estudio fue crucial para identificar áreas de mejora en la tecnología CCS y para informar políticas de regulación y subsidios que apoyen la implementación a gran escala de esta tecnología.

Caso de Estudio 3. Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales con Tecnologías de Membrana

Contexto y Problema. El tratamiento de aguas residuales industriales es un desafío ambiental crítico, especialmente en sectores como la industria textil, que genera grandes volúmenes de efluentes cargados de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Un caso de estudio relevante se llevó a cabo en una planta textil en Asia, donde los métodos tradicionales de tratamiento de aguas no eran suficientes para cumplir con los estándares ambientales.

Metodología Experimental. Para abordar este problema, se implementó un sistema de tratamiento avanzado utilizando tecnologías de membrana, incluyendo ósmosis inversa y nanofiltración. El experimento se centró en evaluar la eficiencia de estas membranas para eliminar contaminantes específicos, como colorantes, metales pesados y compuestos orgánicos persistentes. Se llevaron a cabo pruebas de permeabilidad, selectividad de contaminantes y resistencia a la incrustación de membranas, así como un análisis del costo-beneficio de la operación.

Resultados y Análisis. Los resultados del experimento mostraron que las tecnologías de membrana podían reducir significativamente los niveles de contaminantes en el agua, permitiendo su reutilización en procesos industriales o su descarga segura al medio ambiente. Sin embargo, el análisis también reveló limitaciones, como el alto costo de las membranas, la necesidad de pretratamiento para evitar la incrustación, y la generación de un concentrado residual que requería una gestión adecuada. Este caso de estudio proporcionó información valiosa sobre las condiciones bajo las cuales las tecnologías de membrana son más efectivas y sostenibles, y subrayó la importancia de integrarlas con otras técnicas de tratamiento en una estrategia de gestión de aguas residuales más holística.

Caso de Estudio 4. Evaluación del Impacto Ambiental de la Producción de Biocombustibles

Contexto y Problema. La producción de biocombustibles ha sido promovida como una alternativa más limpia a los combustibles fósiles, pero su impacto ambiental completo sigue siendo un tema de debate. Un caso de estudio detallado se realizó en América Latina, donde se evaluó el ciclo de vida completo de la producción de biodiésel a partir de aceite de palma, desde el cultivo de la palma hasta la combustión del biodiésel en motores.

Metodología Experimental. El estudio utilizó una combinación de experimentos de laboratorio, simulaciones de procesos y análisis de ciclo de vida (LCA). Se evaluaron factores como el consumo de agua y energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación asociada al cultivo de palma y los impactos en la biodiversidad. Los investigadores también analizaron diferentes escenarios de manejo agrícola y tecnologías de procesamiento para identificar las condiciones que minimizan los impactos ambientales.

Resultados y Análisis. El análisis reveló que, si bien el biodiésel de aceite de palma podría reducir las emisiones de CO₂ en comparación con los combustibles fósiles, su producción también estaba asociada con importantes impactos negativos, como la pérdida de biodiversidad debido a la deforestación y el alto consumo de agua. Los experimentos sugirieron que prácticas agrícolas más sostenibles y la integración de tecnologías de tratamiento de efluentes podían mitigar algunos de estos impactos. Este caso de estudio subrayó la necesidad de una evaluación integral del impacto ambiental al promover biocombustibles, y la importancia de políticas que incentiven la producción sostenible.

La investigación experimental

La investigación experimental en el ámbito de la ingeniería química ambiental es un pilar fundamental para el avance del conocimiento y la solución de problemas complejos que afectan a nuestro entorno natural. Este tipo de investigación se caracteriza por la realización de experimentos controlados en los cuales se manipulan variables específicas para observar y analizar los efectos de estos cambios en sistemas químicos y ambientales. A través de la experimentación, los ingenieros químicos ambientales pueden validar teorías, desarrollar nuevos procesos, optimizar tecnologías existentes y, lo más importante, contribuir a la mitigación de impactos ambientales y la sostenibilidad.

En un mundo cada vez más preocupado por el cambio climático, la contaminación y el agotamiento de recursos naturales, la investigación

experimental cobra una relevancia especial. Los ingenieros químicos ambientales, mediante sus experimentos, exploran nuevas formas de tratamiento de aguas residuales, desarrollan tecnologías para la captura y almacenamiento de carbono, y diseñan procesos de producción más limpios y eficientes, entre muchas otras aplicaciones (Zhang et al., 2024). Cada uno de estos experimentos requiere una planificación meticulosa, donde se definen claramente los objetivos, se seleccionan las variables a manipular y se establecen métodos para la recolección y análisis de datos.

Uno de los aspectos distintivos de la investigación experimental en ingeniería química ambiental es la integración de diversas disciplinas científicas. La química, la biología, la física y las ciencias ambientales se combinan para crear un enfoque holístico que permite abordar los desafíos ambientales desde múltiples perspectivas. Por ejemplo, el estudio de la biodegradación de contaminantes en cuerpos de agua implica no solo el conocimiento de las reacciones químicas que se producen, sino también la comprensión de los procesos biológicos que influyen en la descomposición de estos compuestos y su interacción con el ecosistema.

La experimentación también es crucial para la innovación tecnológica. Los ingenieros químicos ambientales utilizan la investigación experimental para desarrollar y probar nuevas tecnologías que pueden tener un impacto significativo en la industria y el medio ambiente. Por ejemplo, la investigación en la producción de biocombustibles a partir de residuos orgánicos es un área de gran interés. A través de experimentos cuidadosamente diseñados, los investigadores pueden optimizar los procesos de conversión, mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de combustibles fósiles.

Además, la investigación experimental en ingeniería química ambiental no solo se limita a los laboratorios. La experimentación en campo es igualmente vital, ya que permite a los ingenieros observar y medir directamente los efectos de las intervenciones ambientales en entornos naturales. Estos estudios de campo son esenciales para validar las teorías desarrolladas en el laboratorio y para ajustar los modelos predictivos que se utilizan en la gestión ambiental.

En la práctica, la investigación experimental aplicada a la ingeniería química ambiental sigue un ciclo iterativo de hipótesis, experimentación, análisis y refinamiento. Este proceso cíclico es fundamental para la generación de conocimientos sólidos y confiables, que pueden ser aplicados en el diseño de políticas ambientales, la creación de normativas y la implementación de tecnologías sostenibles.

Finalmente, es importante destacar el papel de la investigación experimental en la formación de ingenieros químicos ambientales. A través de la experimentación, los estudiantes no solo adquieren habilidades técnicas, sino

que también desarrollan un pensamiento crítico y una comprensión profunda de los desafíos ambientales a los que se enfrentarán en su carrera profesional. La investigación experimental les permite conectar la teoría con la práctica, preparándose para ser agentes de cambio en un mundo que demanda cada vez más soluciones sostenibles.

Características

La investigación experimental en ingeniería química ambiental se enfoca en abordar problemas ambientales mediante el desarrollo y aplicación de soluciones químicas y tecnológicas. Algunas características que presenta son las siguientes: (Paragua et al., 2022).

Objetivo Práctico. La investigación experimental en este campo tiene un enfoque práctico y orientado a resolver problemas específicos, como la contaminación del aire, agua y suelos.

Diseño Experimental. Se basa en la planificación y ejecución de experimentos controlados para estudiar fenómenos químicos y físicos relacionados con el medio ambiente. Esto incluye el diseño de reactores, sistemas de tratamiento y otros equipos.

Métodos Analíticos. Utiliza una variedad de técnicas analíticas para medir y analizar contaminantes y otros parámetros ambientales. Estos métodos pueden incluir cromatografía, espectroscopía, y técnicas de análisis químico avanzado.

Modelado y Simulación. Emplea modelos matemáticos y simulaciones para predecir el comportamiento de los sistemas ambientales y de tratamiento. Esto ayuda a optimizar los procesos y a evaluar el impacto potencial de diferentes soluciones.

Pruebas de Eficiencia y Viabilidad. Los experimentos están diseñados para evaluar la eficacia y viabilidad de nuevas tecnologías o métodos de tratamiento. Esto incluye la prueba de nuevas sustancias químicas, catalizadores, o métodos de separación.

Evaluación de Impacto. Considera los efectos de las soluciones propuestas sobre el medio ambiente. La investigación busca asegurar que las soluciones sean sostenibles y no generen efectos secundarios adversos.

Innovación y Desarrollo. A menudo involucra el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos innovadores. Esto puede incluir la mejora de procesos existentes o la creación de nuevas soluciones para el manejo de residuos y el tratamiento de contaminantes.

Escalado. Una característica importante es el escalado de los experimentos de laboratorio a sistemas a mayor escala. La investigación experimental busca soluciones que sean viables a nivel industrial, considerando aspectos económicos y operacionales.

Interdisciplinariedad. La investigación en ingeniería química ambiental es inherentemente interdisciplinaria, integrando conocimientos de química, ingeniería, biología, y ciencias ambientales.

Normativas y Regulaciones. Cumple con normativas y regulaciones ambientales que aseguran que los métodos y tecnologías desarrolladas sean seguras y cumplan con los estándares legales y éticos.

Hipótesis

Todo proceso investigativo se guía por hipótesis y/o objetivos. Una hipótesis es una suposición o predicción que el investigador formula como posible solución al problema que se está estudiando. El objetivo es simplificar la identificación de la relación causal entre las variables implicadas en el estudio científico (Paragua et al., 2022).

Hay distintas maneras de categorizar o clasificar a las hipótesis, según Bunge (1983) categoriza las hipótesis según fundamentos teóricos utilizados en su formulación de la siguiente manera (Maya 2014):

Ocurrencias. Hipótesis sin fundamentos teóricos ni comprobación empírica.

Hipótesis empíricas. Carecen de base teórica, pero han sido verificadas a través de la experiencia.

Hipótesis posibles. Se basan en una teoría, aunque aún no se han comprobado empíricamente.

Hipótesis convalidadas. Poseen un fundamento teórico y han sido confirmadas por la experiencia. Estas se consideran leyes cuando son generales y forman parte de un sistema, y principios o axiomas cuando sirven como supuestos iniciales de un sistema.

Por su parte, el doctor Pablo Chico Ponce de León clasifica las hipótesis según su estructura de la siguiente forma (Maya, 2014):

Hipótesis explicativas. Suponen la existencia de una entidad que permite explicar los fenómenos.

Hipótesis descriptivas. Representan la conexión ordenada de los elementos o partes de un fenómeno.

Hipótesis análogas. Inferencias que sugieren que lo válido para un conjunto de fenómenos puede serlo también para otros debido a características comunes.

En cuanto a los elementos de una hipótesis, se considera lo siguiente (Maya, 2014):

Unidad de análisis. El objeto de estudio para el cual se busca una respuesta, como grupos de personas, viviendas, sistemas de comunicación, entre otros.

Variables. Son componentes esenciales de las hipótesis, y la formulación adecuada de estas depende de cómo se controlen las variables. Una variable es una característica que puede estar presente o ausente, o presentarse en diferentes grados. En investigación, las variables deben ser medibles cuantitativamente y se dividen en dos tipos:

Variable independiente. Es el factor que se supone explica o determina la presencia de otro.

Variable dependiente. Es el fenómeno o situación que se explica y que depende de la variable independiente.

Las variables independientes se consideran posibles causas del fenómeno en estudio, generando efectos (variables dependientes) relacionados entre sí. La relación entre las variables suele ser compleja y no lineal, con etapas intermedias que influyen en la investigación.

El rigor científico en un proyecto de investigación requiere un vínculo entre el conocimiento teórico y el empírico, estableciendo una relación dialéctica donde la teoría enriquece la investigación empírica y viceversa. La hipótesis sirve como el puente que facilita esta conexión.

Una variable es una propiedad que puede variar (tener diferentes valores) y cuya variación puede ser medida. Ejemplos incluyen sexo, edad, ingresos, nivel educativo, y otros. Las variables se vuelven relevantes para la investigación científica cuando se relacionan con otras dentro de una hipótesis o teoría.

En la investigación experimental en ingeniería química ambiental, una hipótesis es una suposición o propuesta inicial que se pretende validar o refutar mediante experimentación. La hipótesis debe ser específica, medible y basada en observaciones preliminares o teorías existentes (Echavarría Heras et al., 2023).

Algunos ejemplos de hipótesis que podrían ser relevantes en este campo:

Control de Contaminantes

Hipótesis: “El uso de catalizadores de grafeno en el proceso de oxidación avanzada reducirá las concentraciones de contaminantes orgánicos en el agua en

un 50% más que los catalizadores tradicionales basados en metales preciosos.”

Justificación: Basado en la suposición de que el grafeno tiene una alta superficie activa y una mayor eficiencia en la aceleración de reacciones de oxidación.

Tratamiento de Residuos

Hipótesis: “El compostaje de residuos orgánicos en condiciones anaeróbicas produce una mayor cantidad de biogás y menos residuos sólidos comparado con el compostaje en condiciones aeróbicas.”

Justificación: La hipótesis se basa en la premisa de que las condiciones anaeróbicas favorecen la producción de metano a partir de la descomposición de materia orgánica

Remediación de Suelos

Hipótesis: “La aplicación de bioremediadores específicos a suelos contaminados con metales pesados aumentará la tasa de remoción de estos metales en un 30% en comparación con los métodos de limpieza tradicionales.”

Justificación: Se asume que los bioremediadores tienen la capacidad de transformar o movilizar los metales pesados, facilitando su eliminación.

Eficiencia Energética en Procesos Químicos

Hipótesis: “La integración de tecnologías de recuperación de calor en procesos químicos industriales reducirá el consumo total de energía en un 20% en comparación con procesos sin recuperación de calor.”

Justificación: La suposición es que la recuperación y reutilización de calor residual mejorará la eficiencia energética global del proceso.

Impacto Ambiental de Nuevas Tecnologías

Hipótesis: “La implementación de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono en plantas de energía basadas en carbón reducirá las emisiones netas de CO₂ en un 40% sin afectar significativamente la eficiencia del proceso energético.”

Justificación: Basado en la premisa de que las tecnologías de captura de carbono son efectivas para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Variables

Las variables son elementos esenciales en cualquier investigación, ya que representan las características, magnitudes o cantidades que se analizan para responder las preguntas de investigación. Según Arias (2012), una variable es objeto de análisis y una característica cambiante. Villasis-Keever y Miranda-Novales (2016), añaden que las variables son los elementos que se miden y datos

recopilados con el objetivo de responder a las preguntas del estudio. En esencia, las variables se ajustan a los objetivos del estudio, funcionando como el puente entre las preguntas de investigación y las respuestas que se buscan.

Componentes

Propiedad de Medida. Como señala Aceituno et al. (2020), una variable combina un atributo con una propiedad de medida, lo que significa que no solo estamos midiendo un fenómeno, sino que también lo estamos conceptualizando y estructurando teóricamente. Kerlinger (1975), explica que las variables son símbolos a los que se les asignan números o valores, lo que permite cuantificar y analizar los fenómenos que estudiamos.

Construcción Lógica y Teórica. Esta es la base conceptual que define teóricamente lo que se va a estudiar. Nuñez (2007), distingue entre la expresión conceptual y la operacional de una variable. La expresión conceptual se refiere a la definición teórica de la variable, mientras que la operacional implica descomponer o desagregar esta definición teórica en elementos medibles a través de un proceso de deducción, yendo de lo más general a lo más específico.

Aplicación de las Variables en la Investigación

Para que una investigación sea efectiva, es fundamental que las variables sean claramente definidas y alineadas con los objetivos del estudio. Esto se logra a través de la operacionalización, que es el proceso de traducir una variable conceptual en una forma que pueda ser medida y analizada empíricamente. Este proceso es esencial para asegurar que los datos recogidos sean relevantes y que las conclusiones derivadas sean válidas y confiables.

Clasificación de las Variables

Según su Finalidad. La variable independiente simbolizada con la letra X, representa la variable que el investigador maneja para determinar cómo se relaciona con el fenómeno que se ha visto. Es susceptible de manipulación para medir los efectos que produce en otra variable. En términos matemáticos, el investigador estudia cómo la variable efecto (dependiente) cambia cuando se modifica la variable causa (independiente). Ejemplo: La aplicación de la educación ambiental para mejorar el comportamiento ambiental (Paragua et al., 2022).

La Variable Dependiente (VD), simbolizada con la letra Y, es el componente que el investigador observa o mide para evaluar el impacto de la variable independiente. Se considera como la respuesta o salida, y sus valores dependen de los cambios en la variable independiente. Ejemplo: Los cambios en el comportamiento ambiental de las unidades de análisis luego de un período de tratamiento (Paragua et al., 2022).

La Variable Moderadora, representada simbólicamente como X_m , es un tipo de variable independiente que se manipula o selecciona para verificar si modifica la relación entre las variables independiente y dependiente. Asume un valor secundario y se incluye en la investigación para determinar cómo influye en la variable dependiente. Ejemplo: El género de las unidades de análisis puede actuar como variable moderadora (Paragua et al., 2022).

La variable de Control, simbolizada como X_c , es la variable controlada por el investigador para eliminar o neutralizar los efectos que esta causa en la variable dependiente. A diferencia de la variable moderadora, que se incluye para observar sus efectos, la variable de control se neutraliza para eliminar posibles influencias en los resultados (Paragua et al., 2022).

La variable Interviniente: Representada como X_i , estas variables afectan teóricamente a la variable dependiente, pero no son susceptibles de medición o manipulación. Su principal desafío radica en que, aunque están presentes en el proceso investigativo, no son fácilmente identificables ni medibles. Ejemplo: El estado anímico del investigador o de las unidades de análisis (Paragua et al., 2022).

Según su complejidad. Las variables simples son aquellas que pueden ser medidas directamente sin necesidad de descomponerlas en partes más pequeñas, como, por ejemplo. “número de hijos”.

Las variables Complejas, son aquellas que requieren ser descompuestas en dimensiones o subvariables para ser medidas. Ejemplo: “satisfacción laboral”, que podría incluir satisfacción con el salario, ambiente laboral, y oportunidades de desarrollo profesional.

Según su Naturaleza. El primer tipo es cuantitativo, Estas variables se expresan en números y permiten medir cantidades. Ejemplos incluyen la altura, el peso, y la edad. Las Cualitativas se refieren a características o atributos que se expresan en categorías o clases, como el género, estado civil, o nacionalidad.

Operacionalización de las Variables

Operacionalizar una variable implica definir cómo se medirá esa variable en concreto dentro de un estudio. Para las variables independientes en estudios

ex post facto, así como para las dependientes en general, es crucial establecer claramente cómo se medirán. Esto garantiza que los resultados obtenidos sean fiables y válidos.

Capítulo V

Diseño de la Investigación

Figura 2.

Resumen

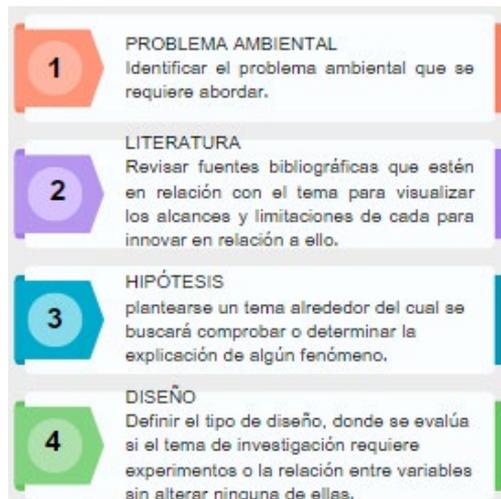
El diseño de la investigación en ingeniería química ambiental consiste en organizar y estructurar un estudio con el objetivo de abordar y solucionar problemas ambientales utilizando principios y métodos propios de la ingeniería química.



Fuente: elaboración propia

En el área en mención los pasos para realizar un diseño de investigación son los descritos a continuación:

Figura 3.





Fuente: elaboración propia

En ingeniería química ambiental se ha experimentado un cambio predominante en periodos actuales, impulsada principalmente por el avance de tecnologías analíticas y computacionales. La integración de sensores de bajo costo, drones y sistemas de información geográfica (SIG) ha revolucionado la recopilación de datos en campo, permitiendo monitorear variables ambientales y estableciendo un nuevo punto de referencia en términos de resolución espacial y temporal (Yiqiang et al., 2021).

Por otro lado, el desarrollo de modelos de aprendizaje automático ha permitido analizar grandes conjuntos de datos heterogéneos, identificando patrones complejos y relaciones causales que eran difíciles de detectar con métodos estadísticos tradicionales. Por ejemplo, las redes neuronales artificiales se han utilizado para predecir la calidad de los cuerpos de agua con alta precisión (Mengyuan et al., 2022).

Diseño no Experimental

Los diseños no experimentales, ampliamente empleados en diversas ramas de la ciencia, se destacan por el estudio y análisis de variables sin que estas sean manipuladas directamente por el investigador. Este método es adaptable y puede aplicarse en diversos contextos, incluso cuando la manipulación directa no es práctica. En la investigación científica, estos diseños son cruciales para el desarrollo y la validación de hipótesis, así como para la construcción y sustentación de teorías (Arias, 2021).

En el ámbito de la Ingeniería Ambiental, los diseños no experimentales son particularmente útiles debido a la complejidad inherente y la interdependencia de los sistemas ambientales. Por ejemplo, en los estudios sobre cambio climático, los investigadores no pueden alterar directamente variables globales como la temperatura o incremento de las emisiones en la presencia atmosférica de gases de calentamiento global. En su lugar, se emplean modelos matemáticos y simulaciones que permiten explorar cómo diferentes variables ambientales (como la temperatura, la precipitación y los niveles de dióxido de carbono) interactúan sin necesidad de modificarlas directamente. Estos modelos permiten generar proyecciones futuras basadas en datos históricos y actuales, proporcionando información crítica con vistas a la adopción de decisiones en materia ambiental (Guevara, 2022).

Un ejemplo específico es el monitoreo de contaminación de la atmósfera en áreas urbanas. Un investigador puede emplear un diseño no experimental para estudiar la relación entre índice de sustancias contaminantes en el aire y la salud pública, sin intervenir directamente en la emisión de dichos contaminantes. Mediante la recopilación de datos observacionales y su posterior análisis utilizando modelos estadísticos, es posible identificar patrones y tendencias que resultan esenciales para el desarrollo de estrategias de mitigación. Un caso real es el estudio de Aguiar y Correa (2020), que utilizó un diseño no experimental para establecer la relación entre la concentración de sustancias nocivas del aire y la mortalidad en el Área Metropolitana del Valle Aburrá – Colombia.

Longitudinal (tendencia-análisis-grupos)

En la Ingeniería Ambiental el uso de estudios longitudinales se utiliza para seguir la evolución de los ecosistemas. Estos estudios se basan en la observación continua de variables a lo largo del tiempo sin intervención directa en el ambiente. Por ejemplo, el monitoreo de la deforestación en Ayacucho a través de imágenes satelitales permite a los investigadores analizar los efectos de los cambios en la cobertura forestal sobre la biodiversidad y el clima regional. Este enfoque no experimental ha generado datos valiosos que han contribuido al desarrollo de políticas de conservación y manejo sostenible de los recursos naturales en la región (Contreras, 2023).

Los diseños no experimentales longitudinales siguen siendo una herramienta fundamental en la investigación ambiental, pero enfrentan desafíos relacionados con la disponibilidad de datos a largo plazo, la comparabilidad de los datos obtenidos en diferentes momentos y la influencia de factores externos. Para abordar estos desafíos, los investigadores han desarrollado nuevas metodologías y herramientas. Por ejemplo, el análisis de series temporales se utiliza para

identificar tendencias y patrones estacionales en los datos ambientales, mientras que los modelos de ecuaciones estructurales se emplean para evaluar la causalidad entre diferentes variables.

Los diseños longitudinales en Ingeniería Ambiental permiten realizar los siguientes análisis:

- Evolución de la calidad del aire en una ciudad: Monitoreo continuo de la calidad del aire en una ciudad para comprender mejor las tendencias a largo plazo y evaluar la efectividad de las medidas de control de la contaminación, con el fin de informar la toma de decisiones políticas. Como seguimiento de la calidad del aire en Lima, un estudio desarrollado por Mendez y Urqui (2023), que abordó la evolución de la calidad del aire de Lima metropolitana. Los investigadores recopilaron datos continuos del SENAMHI sobre la concentración de partículas finas PM_{2.5} y PM₁₀, logrando identificar zonas donde el material particulado excede los límites permisibles. A través de este enfoque, se analizaron las tendencias a largo plazo en la calidad del aire y se examinaron las correlaciones con cambios en la normativa ambiental y las prácticas de producción industrial. Este tipo de estudios es crucial para comprender el impacto prolongado de las actividades industriales en la salud pública y en el medio ambiente, lo que facilita el diseño de políticas más efectivas para la gestión de la contaminación.
- Monitoreo de emisiones de gases a partir del tráfico vehicular como presenta Holguín (2022), quien realizó un estudio longitudinal para evaluar la evolución de las emisiones de gases originados por vehículos estableciendo significancia en los años 2015, 2016 y 2021. Se midieron las emisiones de gases como el CO, SOX, NOX, COV, CO₂ y PM₁₀, y se analizaron las tendencias de emisión en relación con la gestión vehicular en el Centro Histórico de Cuzco. Este enfoque es crucial para evaluar el impacto ambiental de diversos procesos a largo plazo y desarrollar estrategias para reducir la huella de carbono de la industria química.
- Análisis de la calidad del aire en áreas urbanas adyacentes a plantas mineras, tal como Ccapa (2022), que llevó a cabo un estudio longitudinal para evaluar la calidad del aire en una por la influencia de la minera Jesús 2004 TRES entre los meses de marzo y junio. El estudio analizó las partículas en suspensión y su variación en 2 estaciones. Esta investigación es vital para identificar las principales fuentes de contaminación y desarrollar medidas para proteger la salud pública en comunidades afectadas por la proximidad continua a instalaciones industriales.

- Estudio sobre la biodegradación y reutilización de materiales en vertederos que no tienen una disposición final adecuada como indica Teran (2022), quien llevó a cabo una investigación longitudinal para monitorear la no degradación de pañales descartables monitoreados mes a mes como fuente líquida de plantas. Este estudio se centró en evaluar cómo las variables ambientales, como la temperatura y la humedad, influyen en la tasa de descomposición de estos materiales y ser usados para reservar agua para plantaciones. Los hallazgos del estudio no solo aportaron valiosa información sobre el comportamiento a largo plazo de los pañales, sino que también proporcionaron datos fundamentales para mejorar las estrategias de gestión de residuos sólidos, promoviendo la utilización de materiales que generen menor impacto ambiental.
- Diseño de panel para evaluar el impacto de políticas de gestión de residuos en la generación de residuos plásticos en varias ciudades chinas. Los autores combinaron datos de encuestas, registros administrativos y sensores remotos para construir un modelo que permitiera estimar la cantidad de residuos plásticos generados y evaluar la efectividad de diferentes intervenciones.
- Permite evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, como en el estudio de Ccoya (2024), que emplea el diseño no experimental para evaluar la laguna confinada Bahía de los Incas de Puno, de tal manera que no manipula ningún dato simplemente encuentra la relación de parámetros determinados en 4 puntos en 3 tiempos diferentes con los límites permitidos.
- Evaluación de ecosistemas marinos, como el estudio de Centón (2023), que realizó su trabajo investigativo acerca del puerto de Ilo para la determinación de la cantidad de metales pesados concentrados en los sedimento, para ello realizó el análisis de 5 zonas del puerto para las estaciones de invierno, primavera y verano, logrando disponer la eficiencia de este tipo de diseño en la determinación en periodos extensos y aprobación de hipótesis.
- Evaluación a largo plazo de tratamientos de aguas residuales: Un análisis longitudinal efectuado por Aguirre y Mendocilla (2023), se centraron en la eficacia de diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales en la eliminación de contaminantes emergentes, como fármacos y productos químicos industriales. Durante un período de 1 año, se rastrearon los niveles de estos contaminantes en aguas tratadas y se evaluó su impacto en la calidad del agua de los cuerpos receptores. Este tipo de estudios es fundamental para garantizar que las tecnologías de tratamiento sean

eficaces a largo plazo y que no se generen subproductos nocivos, lo que ayuda a proteger tanto los ecosistemas acuáticos como la salud humana.

- Estudio de la acidificación de cuerpos de agua, donde Martínez (2023, cita a Becerra, 2022), quien realizó un estudio longitudinal para investigar la acidificación de lagos en Tingo Maygasbamba Bambamarca debido a las emisiones de dióxido de azufre. Durante el periodo de julio y septiembre en época de sequía, se recopilaron datos de 4 muestras sobre los cambios en la acidez del agua y su impacto en las especies acuáticas. Este tipo de investigación permite identificar patrones a largo plazo y desarrollar estrategias para mitigar los efectos de la acidificación en los ecosistemas acuáticos, ayudando a conservar la biodiversidad y mantener la calidad del agua.
- Impacto de la contaminación del suelo en la productividad agrícola: En un estudio realizado por Reyes y Villanueva (2021), investigaron cómo la contaminación del suelo por metales pesados afecta la productividad agrícola a lo largo del tiempo. Durante 1 año, se monitorean las concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas y en los cultivos, observando cómo estos contaminantes influyen en la salud de las plantas y la calidad de los productos agrícolas. El estudio proporcionó información valiosa sobre la necesidad de implementar medidas de remediación para restaurar la fertilidad del suelo y asegurar la seguridad alimentaria en regiones afectadas por la contaminación.

Transversal

Los diseños transversales son herramientas cruciales en la investigación ambiental, especialmente cuando el objetivo es obtener una instantánea de la situación en un momento específico. A diferencia de los estudios longitudinales que observan cambios a lo largo del tiempo, los estudios transversales permiten a los investigadores recopilar datos en un punto temporal particular. Esto es especialmente valioso en estudios donde los recursos son limitados o donde se necesita información rápida y precisa. A pesar de que estos diseños no permiten establecer causalidad directa, son extremadamente útiles para describir características de una población o fenómeno, explorar relaciones entre variables, y generar hipótesis para investigaciones futuras.

Dentro de los estudios transversales, se pueden distinguir tres enfoques principales:

Exploratorio

El enfoque exploratorio en un diseño transversal se utiliza para identificar nuevas áreas de investigación o para obtener una comprensión preliminar de un fenómeno ambiental. Estos estudios son generalmente flexibles y no están limitados por hipótesis específicas desde el principio. Los investigadores pueden ajustar su enfoque a medida que recopilan datos, lo que les permite descubrir patrones o tendencias inesperadas. Este tipo de estudio es fundamental en etapas iniciales de investigación, donde el objetivo es construir una base de conocimiento que pueda ser explorada más a fondo en estudios futuros.

Ejemplo: Imagina un estudio exploratorio transversal que busca entender la percepción de las comunidades locales sobre el cambio climático en una región costera. Los investigadores podrían realizar encuestas en diferentes localidades para recopilar datos sobre cómo los residentes perciben el cambio climático, qué creen que lo causa, y cómo están adaptando sus prácticas agrícolas y pesqueras. Al analizar estos datos, los investigadores podrían identificar áreas específicas donde se necesita más educación o intervención, así como descubrir patrones en la percepción que no habían sido considerados previamente. Este tipo de estudio proporciona una base sobre la cual se pueden construir intervenciones más dirigidas o investigaciones más profundas.

Descriptivo

El enfoque descriptivo dentro de un diseño transversal se enfoca en describir con precisión las características de un fenómeno o población en un momento dado. Estos estudios son particularmente útiles para cuantificar aspectos específicos del medio ambiente o de una comunidad sin inferir relaciones causales. La descripción detallada proporcionada por estos estudios puede servir como un punto de referencia para estudios futuros o para la formulación de políticas ambientales.

Ejemplo: Consideremos un estudio descriptivo transversal que se centra en la calidad del agua en diferentes ríos de una región afectada por la minería. Los investigadores podrían tomar muestras de agua de múltiples puntos a lo largo de cada río en un momento específico y analizar las concentraciones de metales pesados, sedimentos, y otros contaminantes. Los resultados proporcionarían una “fotografía” del estado actual de la calidad del agua, identificando áreas de preocupación donde los niveles de contaminación superan los estándares de salud pública. Estos hallazgos podrían ser utilizados por las autoridades

para implementar medidas correctivas y servirían como línea base para futuras comparaciones.

Correlacional

El enfoque correlacional en un diseño transversal se centra en explorar la relación entre dos o más variables sin manipularlas. Aunque no se puede establecer causalidad, estos estudios son fundamentales para identificar posibles asociaciones que pueden ser investigadas más a fondo en estudios experimentales o longitudinales. En el contexto de la investigación ambiental, los estudios correlacionales pueden revelar cómo diferentes factores están interrelacionados, lo que es clave para la formulación de políticas y estrategias de mitigación.

Ejemplo: Un estudio correlacional transversal podría investigar la relación entre la densidad poblacional y los niveles de contaminación del aire en diferentes ciudades. Los investigadores podrían recopilar datos sobre la cantidad de habitantes, el número de vehículos, la industrialización y los niveles de contaminantes como el dióxido de nitrógeno (NO_2) y las partículas $\text{PM}_{2.5}$ en varias ciudades durante un período específico. Al analizar estos datos, se podría encontrar que las ciudades con mayor densidad poblacional tienden a tener niveles más altos de contaminación, lo que sugiere una correlación entre estos factores. Estos resultados podrían informar a los responsables de políticas sobre la necesidad de implementar medidas de control de la contaminación en áreas densamente pobladas.

Diseño Experimental

Los diseños experimentales son una piedra angular en la investigación ambiental cuando se necesita entender las relaciones de causa y efecto entre variables. Estos diseños permiten a los investigadores manipular una o más variables independientes (factores que se controlan o cambian deliberadamente) para observar y medir sus efectos en una o más variables dependientes (resultados que se evalúan). Esta capacidad para controlar y manipular variables de manera precisa es lo que distingue a los estudios experimentales de otros tipos de investigación, como los diseños observacionales o correlacionales.

Diseños preexperimentales

Los diseños preexperimentales son un tipo de diseño experimental que se utiliza cuando se busca explorar una relación entre variables, pero con un menor control sobre las mismas en comparación con los experimentos verdaderamente controlados. A menudo, estos diseños se emplean en etapas iniciales de investigación o en situaciones donde es difícil o no es factible implementar un control riguroso sobre todas las variables involucradas. Aunque los resultados de los estudios preexperimentales pueden ser útiles para generar hipótesis y obtener información preliminar, no ofrecen el mismo nivel de validez interna que los experimentos más robustos.

Características de los Diseños Preexperimentales

Ausencia de Grupo de Control. A diferencia de los experimentos verdaderos, los diseños preexperimentales a menudo carecen de un grupo de control, lo que dificulta comparar los resultados y determinar si el cambio observado en la variable dependiente es realmente atribuible a la variable independiente o a otros factores.

Poca o Ninguna aleatorización. La aleatorización, que es un proceso clave en los experimentos verdaderos para evitar sesgos, generalmente está ausente o es mínima en los diseños preexperimentales. Esto significa que los sujetos o unidades de estudio no se asignan aleatoriamente a los grupos, lo que puede introducir sesgos y limitar la validez de los resultados.

Control Limitado de Variables Externas. Los investigadores tienen un control limitado sobre las variables externas que podrían influir en los resultados. Esto puede llevar a conclusiones que son menos confiables, ya que otros factores no controlados podrían ser responsables de los cambios observados.

Tipos de Diseños Preexperimentales.

1. **Estudio de Caso Único (One-Shot Case Study).** En este diseño, un solo grupo o individuo es expuesto a una variable independiente y luego se mide el resultado (variable dependiente). No hay un grupo de control o comparación, y no se realizan mediciones previas a la intervención, lo que limita la capacidad para hacer inferencias causales.

Ejemplo: Supongamos que un investigador quiere evaluar el impacto de un programa educativo sobre el reciclaje en una comunidad. El investigador

implementa el programa en una única comunidad y luego mide la tasa de reciclaje al final del programa. Aunque los resultados pueden indicar un cambio, no se puede concluir con certeza que el programa fue la causa del aumento en la tasa de reciclaje debido a la falta de un grupo de comparación o una medición previa.

Tabla 1.

Aspecto	Descripción
Ejemplo	Evaluación del impacto de un programa educativo sobre reciclaje en una comunidad.
Variable Independiente	Implementación del programa educativo sobre reciclaje.
Variable Dependiente	Tasa de reciclaje en la comunidad después de la implementación del programa.
Grupo de Control	No hay grupo de control.
Medición Previa	No se realiza medición antes de la intervención.
Conclusión	Los resultados pueden indicar un cambio, pero no se puede concluir con certeza que el programa causó el aumento en la tasa de reciclaje debido a la falta de control.

Fuente: elaboración propia

2. Diseño de Pretest-Posttest de Grupo Único (One-Group Pretest-Posttest Design). En este diseño, se mide la variable dependiente antes y después de la intervención en un solo grupo. Aunque proporciona más información que el estudio de caso único, sigue careciendo de un grupo de control, lo que limita las conclusiones sobre la causalidad.

Ejemplo: Imaginemos un estudio que evalúa el impacto de una nueva política de conservación de agua en un edificio. Los investigadores miden el consumo de agua antes de la implementación de la política y nuevamente después de su implementación. Si bien pueden observar una disminución en el consumo de agua, no pueden estar seguros de que la política fue la causa, ya que otros factores (como cambios en el clima o en el comportamiento de los residentes) también podrían haber influido.

Tabla 2.

Aspecto	Descripción
Ejemplo	Evaluación del impacto de una política de conservación de agua en un edificio.
Variable Independiente	Implementación de la política de conservación de agua.
Variable Dependiente	Consumo de agua antes y después de la implementación de la política.
Grupo de Control	No hay grupo de control.
Medición Previa	Se mide el consumo de agua antes de la implementación de la política.
Conclusión	Una disminución en el consumo de agua podría observarse, pero no se puede asegurar que la política fue la causa sin la presencia de un grupo de control.

Fuente: elaboración propia

3. *Diseño de Comparación Estática (Static Group Comparison)*. Descripción: En este diseño, se compara un grupo que ha sido expuesto a la variable independiente con otro grupo que no lo ha sido. Sin embargo, la falta de aleatorización en la asignación de los grupos reduce la validez interna del estudio, ya que las diferencias entre los grupos podrían deberse a factores preexistentes.

Ejemplo: Consideremos un estudio que compara dos áreas naturales protegidas: una donde se ha implementado una nueva estrategia de manejo de especies invasoras y otra donde no se ha implementado. Los investigadores compararon las poblaciones de especies nativas en ambas áreas después de un período de tiempo. Aunque las diferencias observadas pueden sugerir que la estrategia de manejo fue efectiva, la falta de aleatorización significa que otras diferencias entre las áreas (como la presión de los visitantes o las condiciones climáticas) podrían haber influido en los resultados.

Tabla 3.

Aspecto	Descripción
Ejemplo	Comparación de áreas naturales protegidas con y sin una estrategia de manejo de especies invasoras.
Variable Independiente	Implementación de la estrategia de manejo de especies invasoras en una de las áreas.

Aspecto	Descripción
Variable Dependiente	Poblaciones de especies nativas en las áreas después de un período de tiempo.
Grupo de Control	El área natural sin la estrategia de manejo.
Medición Previa	No se menciona medición previa.
Conclusión	Aunque las diferencias en las poblaciones de especies nativas pueden sugerir que la estrategia fue efectiva, la falta de aleatorización limita la validez de la conclusión.

Fuente: elaboración propia

Diseños cuasi experimentales.

En el campo de la ingeniería química ambiental, la metodología de investigación juega un papel crucial al abordar problemas ambientales y evaluar soluciones tecnológicas y de procesos. Los diseños cuasi-experimentales son especialmente útiles en esta disciplina cuando no es posible asignar sujetos o unidades de estudio de manera aleatoria debido a restricciones prácticas o éticas.

Los diseños cuasi-experimentales, que son herramientas clave en la investigación aplicada, se caracterizan por no ser aleatorios. A diferencia de los diseños experimentales, en los cuasiexperimentos no se puede garantizar con precisión que los grupos sean equivalentes al inicio, debido a la falta de aleatorización. Así mismo, ofrecen una alternativa a los experimentos con asignación aleatoria en contextos sociales donde no se puede tener un control experimental completo. Como explican, los cuasi-experimentos se parecen a los experimentos con asignación aleatoria en muchos aspectos, excepto en que no se puede asumir que los grupos de tratamiento sean equivalentes desde el inicio dentro de los márgenes del error muestral (Bono, 2023).

En los diseños de investigación aplicada, se pueden emplear diversas técnicas para analizar los datos, entre ellas: el análisis de varianza (ANOVA), el análisis de covarianza (ANCOVA), la regresión múltiple (MR), el análisis de series temporales utilizando modelos ARIMA, el análisis multivariado de varianza (MANOVA), el análisis de correlaciones cruzadas en panel (CCPA), el análisis de regresión (RA) y los modelos estructurales de ecuaciones lineales (LISREL).

Características de los Diseños Cuasi-Experimentales

1. Presencia de un Grupo de Control. En los diseños cuasi-experimentales, se utiliza un grupo de control que no recibe el tratamiento experimental. Este

grupo sirve como punto de comparación para evaluar los efectos del tratamiento aplicado al grupo experimental. Por ejemplo, al evaluar la eficacia de un nuevo proceso de tratamiento de aguas residuales, una planta puede actuar como grupo experimental (aplicando el nuevo proceso) y otra planta similar, que sigue el proceso convencional, como grupo de control (Gutiérrez y García, 2023).

2. **Asignación No Aleatoria de Sujetos.** En la investigación científica y en la ingeniería química ambiental, la asignación no aleatoria de sujetos o unidades de estudio es una estrategia común en los cuasi-experimentos, especialmente cuando no es posible o práctico realizar una asignación aleatoria. En los cuasi-experimentos, los investigadores no pueden asignar aleatoriamente los sujetos o unidades de estudio a diferentes condiciones o grupos experimentales. En lugar de eso, los grupos se determinan en función de criterios preexistentes o de conveniencia. Esto contrasta con los experimentos puros, donde los participantes son asignados aleatoriamente a los grupos de control o experimental para garantizar que las diferencias observadas entre grupos se deban a la intervención y no a variables externas (Fernández et al., 2014).

En estudios para evaluar la contaminación del suelo o agua antes y después de una intervención (como la implementación de una nueva tecnología de tratamiento de residuos), se seleccionan áreas geográficas específicas basadas en criterios como niveles previos de contaminación o características ambientales similares.

Control de Variables: Aunque la asignación no es aleatoria, es crucial controlar otras variables que podrían influir en los resultados, como las condiciones climáticas, las prácticas locales y las características geográficas.

Análisis de Datos: Es fundamental utilizar técnicas estadísticas avanzadas para ajustar los resultados por posibles sesgos y confusiones.

3. **Mediciones en Diferentes Tiempos.** Se realizan múltiples mediciones de la variable dependiente en diferentes momentos, antes y después de la aplicación del tratamiento. Esto permite evaluar los cambios a lo largo del tiempo.

Aplicación en Ingeniería Química Ambiental: Al monitorear la calidad del aire, se pueden tomar mediciones antes de la implementación de una nueva tecnología de filtración y en varios intervalos después de su implementación para observar los cambios en la concentración de contaminantes.

4. **Manipulación de la Variable Independiente.** En los diseños cuasi-experimentales, la manipulación de la variable independiente en diferentes niveles o momentos es una estrategia esencial para explorar y optimizar resultados en contextos donde la asignación aleatoria de sujetos o unidades de estudio no es posible. Este enfoque permite a los investigadores y profesionales adaptar las

condiciones del experimento para maximizar el rendimiento o la eficacia de una intervención o proceso.

Un ejemplo aplicativo que indica Soto, 2006 en la optimización de un proceso de reciclaje de metales pesados, como el plomo y el cobre, se pueden ajustar las condiciones operativas en diferentes fases del experimento para determinar la combinación más eficiente. Primero, se establecen condiciones operativas iniciales y se mide la eficiencia de recuperación de metales con estos parámetros base. A continuación, se manipularon variables clave como la temperatura y el tiempo de reacción en fases separadas del experimento. Por ejemplo, se pueden realizar pruebas variando la temperatura del proceso entre 60°C y 90°C, mientras se mantiene constante el tiempo de reacción. Luego, se ajusta el tiempo de reacción entre 1 y 3 horas para cada temperatura probada. Los datos recopilados permiten identificar la combinación óptima de temperatura y tiempo que maximiza la eficiencia del reciclaje. Finalmente, se confirma la efectividad de esta combinación óptima a través de experimentos adicionales. Este enfoque asegura que el proceso de reciclaje no solo sea más eficiente en la recuperación de metales, sino también más económico y sostenible, al ajustar las condiciones operativas para obtener los mejores resultados posibles.

Ejemplo Aplicado: Supongamos que se quiere evaluar la efectividad de un nuevo catalizador en la reducción de emisiones contaminantes en una planta química.

Diseño del Estudio:

Tabla 4.

Grupo Control (G1)	Planta A, que continúa utilizando el catalizador actual.
Grupo Experimental (G2)	Planta B, que implementa el nuevo catalizador.

Fuente: elaboración propia

Mediciones de la Variable Dependiente (Emisiones Contaminantes):

Esquema del Estudio

Tabla 5.

Grupos	Pre-test (O1)	Aplicación del Tratamiento (X)	Post-test (O2)	Post-test Continuo (O3)
Grupo Control (G1)	O1	No se aplica	O2	O3
Grupo Experimental (G2)	O1	X	O2	O3

Fuente: elaboración propia

Interpretación de Resultados:

Comparación O2 de G1 y G2: Evaluar la diferencia en emisiones después de la implementación del nuevo catalizador.

Comparación O3 de G1 y G2: Observar los efectos a largo plazo del nuevo catalizador en comparación con el grupo de control.

En resumen, los diseños cuasi-experimentales en la investigación en ingeniería química ambiental permiten una evaluación efectiva de intervenciones cuando la asignación aleatoria no es posible. Al utilizar grupos de control, mediciones repetidas y manipulación de variables, se pueden obtener resultados significativos y prácticos para mejorar los procesos y tecnologías ambientales.

Experimentos puros

Los experimentos puros, en el contexto de la metodología de la investigación, se caracterizan por reunir dos requisitos esenciales para lograr el control y la validez interna: Grupos de comparación (manipulación de la variable independiente): En los experimentos puros, se crean uno o más grupos experimentales y de control. La variable independiente se manipula sistemáticamente en los grupos experimentales, mientras que los grupos de control no reciben esta manipulación. Esto permite observar y comparar los efectos de la variable independiente sobre la variable dependiente. La existencia de estos grupos de comparación es crucial para identificar los efectos causales de la variable independiente (Monje, 2011).

Equivalencia de los grupos: Los sujetos o unidades de estudio se asignan a los grupos de manera aleatoria. La asignación aleatoria garantiza que los grupos sean equivalentes en términos de características relevantes antes de la intervención. Esto ayuda a asegurar que las diferencias observadas en los resultados sean

atribuibles únicamente a la manipulación de la variable independiente y no a diferencias preexistentes entre los grupos.

Estos experimentos pueden incluir una o más variables independientes y dependientes, y utilizan prepruebas y postpruebas para analizar la evolución de los grupos antes y después del tratamiento experimental. Sin embargo, la posprueba es siempre necesaria para determinar los efectos de las condiciones experimentales.

Aplicación de los Experimentos Puros en la Investigación en Ingeniería Química Ambiental

La manipulación controlada de variables en experimentos puros es crucial para identificar relaciones causa-efecto en procesos químicos y ambientales. Por ejemplo, evaluar el impacto de diferentes catalizadores en una reacción química específica bajo condiciones controladas.

La aleatorización y la equivalencia de los grupos garantizan que las diferencias observadas sean debidas a la variable independiente y no a factores externos. Esto es especialmente importante en estudios sobre el impacto ambiental de diferentes tratamientos de residuos.

En muchos estudios ambientales, se utilizan prepruebas para establecer una línea base antes de la aplicación de un tratamiento experimental. Por ejemplo, medir la calidad del agua antes y después de aplicar un nuevo método de tratamiento.

En la investigación ambiental, a menudo es crucial evaluar los efectos a largo plazo de las intervenciones. Los diseños experimentales puros que incluyen pospruebas en diferentes momentos pueden ayudar a comprender estos efectos.

La estructura robusta de los experimentos puros ayuda a asegurar que los resultados sean válidos y reproducibles, lo que es esencial para la implementación de nuevas tecnologías y procesos en el campo de la ingeniería química ambiental.

Ejemplo de Aplicación

Un ejemplo práctico de un experimento puro en el contexto de la evaluación de un nuevo método para el tratamiento de aguas residuales, propuesto por López et al. (2016), podría estructurarse de la siguiente manera:

Para evaluar la eficacia de distintos métodos de tratamiento de aguas residuales, se diseñaría un experimento con un grupo de control y varios grupos

experimentales. El grupo de control no recibiría ningún tratamiento, sirviendo como referencia para medir los efectos de los distintos métodos aplicados.

Los grupos experimentales se asignarían aleatoriamente y cada uno se sometería a un método de tratamiento diferente, como filtros biológicos, ozonización o coagulantes químicos. Antes de iniciar el tratamiento, se mediría la calidad del agua en todos los grupos para establecer una línea base de los contaminantes presentes (preprueba).

Luego, se aplicaría el tratamiento específico a los grupos experimentales, mientras que el grupo de control permanecería sin intervención. Tras la aplicación del tratamiento, se realizarían mediciones similares de la calidad del agua (posprueba) para evaluar los cambios.

El análisis de los datos permitiría comparar la reducción de contaminantes y las mejoras en los parámetros de calidad del agua entre los grupos experimentales y el grupo de control. Este enfoque riguroso facilita la identificación del método de tratamiento más efectivo al asegurar que las diferencias observadas se deben únicamente a la manipulación de la variable independiente, minimizando el impacto de variables externas. Así, los resultados serían válidos y confiables para recomendar el método de tratamiento más eficiente en la práctica.

Capítulo VI

Recolección de datos

Datos Cuantitativos

Los instrumentos de medición son esenciales en cualquier proceso de investigación o análisis, ya que permiten obtener datos cuantitativos que son fundamentales para la toma de decisiones y la formulación de conclusiones. Estos instrumentos pueden variar en complejidad, desde herramientas sencillas como una regla o una báscula, hasta dispositivos más avanzados como sensores de alta precisión o sistemas automatizados de recolección de datos. Su elección depende del tipo de variable que se quiera medir, así como de la precisión y confiabilidad requeridas en el estudio.

En la investigación social, por ejemplo, encuestas y censos son instrumentos comúnmente utilizados para recolectar datos sobre características demográficas, comportamientos o actitudes de una población específica. Estos métodos permiten a los investigadores cuantificar fenómenos sociales y obtener una visión general sobre temas como la salud, la educación, o el empleo. Las encuestas pueden realizarse de forma presencial, telefónica, o en línea, y los censos suelen aplicarse a toda la población objetivo, brindando una imagen exhaustiva de la misma.

En campos como la ingeniería civil o ambiental, se utilizan instrumentos como sensores y medidores de nivel de agua para monitorear variables físicas. Por ejemplo, los sensores de humedad y temperatura son fundamentales en estudios climáticos o en la agricultura de precisión, mientras que los medidores de nivel de agua se emplean para evaluar el caudal de ríos, lagos, o niveles freáticos, cruciales en la gestión de recursos hídricos y en la prevención de desastres naturales. Estos instrumentos permiten obtener datos en tiempo real y con alta precisión, facilitando el análisis y la toma de decisiones basadas en datos. Dentro de algunos ejemplos de los instrumentos de medición tenemos:

Encuestas: Un cuestionario en línea distribuido a una muestra representativa de una población para investigar la opinión pública sobre un tema específico, como la satisfacción con los servicios de salud.

Sensores de temperatura: Dispositivos instalados en un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) para monitorear y regular la temperatura en un edificio.

Medidores de nivel de agua: Herramientas utilizadas para medir el nivel del agua en un río durante la temporada de lluvias, lo que ayuda a prever posibles inundaciones y a tomar medidas preventivas.

Confiabilidad (Con sus Procedimientos) y Validez (Tipos de Evidencia)

La confiabilidad y la validez son conceptos clave en la metodología de la investigación, especialmente en campos aplicados como la ingeniería química ambiental. A continuación, se detallan estos conceptos, junto con sus procedimientos y tipos de evidencia, en el contexto de la investigación aplicada a la ingeniería química ambiental.

Confiabilidad

La confiabilidad se refiere a la consistencia y estabilidad de los resultados obtenidos mediante un instrumento o método de investigación. En otras palabras, un estudio es confiable si, al repetirlo en condiciones similares, se obtienen resultados consistentes.

Avances en Tecnologías de Remediación. Una línea crucial de investigación se enfoca en el desa

Se tienen los siguientes procedimientos para Evaluar la Confiabilidad:

Prueba-Retest (Test-Retest). Se aplica el mismo instrumento en dos momentos diferentes a un mismo grupo de sujetos y se compara la consistencia de los resultados. Si los resultados son similares, se considera que el instrumento es confiable.

Consistencia Interna. Se analiza la coherencia de los ítems que componen un instrumento. Por ejemplo, si un cuestionario mide un constructo específico, los ítems relacionados deben correlacionarse entre sí. El coeficiente alfa de Cronbach es comúnmente utilizado para evaluar esta consistencia interna.

Confiabilidad Interobservador. En estudios donde varios observadores recolectan datos, es importante asegurar que los diferentes observadores obtengan resultados similares al medir lo mismo. Se puede calcular el coeficiente de correlación entre observadores para evaluar esta confiabilidad.

Validez

La validez se refiere a qué tan bien un instrumento mide lo que se supone que debe medir. En el contexto de la ingeniería química ambiental, esto podría significar la precisión con la que una metodología mide un contaminante específico o la efectividad de un tratamiento ambiental.

Existen los siguientes tipos de evidencia para evaluar la validez

Validez de Contenido. Evalúa si los ítems del instrumento cubren de manera adecuada y representativa el dominio del constructo que se pretende medir. En investigaciones ambientales, esto podría implicar asegurar que todos los aspectos relevantes de una variable, como la contaminación del agua, estén incluidos.

Validez de Criterio. Se refiere a la relación entre los resultados del instrumento y algún criterio externo que se considera una medida estándar. Esto se puede dividir en:

Validez Concurrente. Compara los resultados del instrumento con los de un criterio medido al mismo tiempo.

Validez Predictiva. Evalúa si los resultados del instrumento pueden predecir futuros resultados relacionados con el criterio.

Validez de Constructo. Evalúa qué tan bien un instrumento mide el constructo teórico que se supone debe medir. Implica verificar que los resultados del instrumento se comporten de acuerdo con las expectativas teóricas.

Validez Externa. Se refiere a la generalización de los resultados de un estudio a otras poblaciones, entornos, tiempos, etc. En ingeniería química ambiental, esto podría implicar la aplicación de un método desarrollado en un lugar específico a otros contextos ambientales.

Aplicación en la Ingeniería Química Ambiental

La confiabilidad es crucial al diseñar experimentos o métodos de medición para asegurarse de que los resultados son consistentes. Por ejemplo, si se mide la concentración de un contaminante en diferentes puntos de un río, la metodología debe proporcionar resultados coherentes en mediciones repetidas.

La validez es fundamental para asegurar que las conclusiones sobre la eficacia de un tratamiento ambiental o la evaluación del impacto ambiental sean correctas. Por ejemplo, si se desarrolla un nuevo sensor para detectar un

contaminante, se debe demostrar que realmente mide ese contaminante y no otro, y que sus resultados se correlacionan con métodos estándar de medición.

Datos cualitativos

Para el análisis de del procedimiento para el análisis de datos cualitativos en SPSS, Minitab y Statgraphics 18 en el contexto de la Metodología de la Investigación Aplicada a la Ingeniería Química Ambiental para datos descriptivos, involucra una serie de pasos que permiten organizar, codificar, y analizar información textual o categórica proveniente de observaciones, entrevistas, encuestas abiertas u otros tipos de datos no numéricos. Aquí se detalla el procedimiento específico para cada software

Preparación de los datos

Recolección de datos. Recopila datos cualitativos provenientes de entrevistas, encuestas abiertas, observaciones de campo o registros textuales.

Transcripción y organización. Transcribe el contenido de las entrevistas y observa los datos de campo. Luego, organiza la información en un formato estructurado (como en una hoja de cálculo), donde cada fila corresponde a un caso o una observación y cada columna a una variable.

Codificación de los datos cualitativos

SPS. Codifica los datos textuales transformándolos en variables categóricas. Por ejemplo, las respuestas a preguntas abiertas se pueden codificar en temas o categorías.

Utiliza la función de “Etiquetas de valores” para asignar significados a los códigos numéricos.

Crea tablas de frecuencia para explorar la distribución de las respuestas categorizadas.

Minitab. Importa los datos textuales y utiliza la herramienta de “Categorías” para codificar las respuestas en grupos.

Aplica técnicas de resumen de datos categóricos, como la generación de tablas de frecuencias o gráficos de barras, para visualizar la distribución de categorías.

Statgraphics 18. Usa la función de “Text Mining” o “Análisis de contenido” para codificar y categorizar el texto.

Genera un resumen de las categorías y subcategorías identificadas, permitiendo observar tendencias y patrones dentro de los datos cualitativos.

Análisis descriptivo

SPSS. Utiliza estadísticas descriptivas para resumir los datos categóricos.

Aplica análisis de contenido, identificando la frecuencia de aparición de ciertas palabras o temas, y visualiza los resultados con gráficos circulares o de barras.

Minitab. Realiza un análisis descriptivo de las variables categóricas, utilizando gráficos para representar la distribución de categorías y describir patrones de respuesta.

Emplea análisis de correspondencia para visualizar relaciones entre categorías.

Statgraphics 18. Implementa análisis multivariado si es necesario, como el análisis de correspondencias, para explorar la relación entre distintas categorías.

Utiliza gráficos interactivos para visualizar los datos cualitativos, permitiendo identificar tendencias y patrones en la información descriptiva.

Interpretación de Resultados

SPSS, Minitab y Statgraphics 18. Después de analizar los datos, interpreta los resultados dentro del contexto de la investigación en Ingeniería Química Ambiental.

Relaciona los hallazgos con los objetivos de la investigación, identificando cómo los patrones y tendencias cualitativas aportan a la comprensión de problemas ambientales específicos, como el tratamiento de aguas residuales, gestión de residuos, o mitigación de impactos ambientales.

Presentación de Resultados

Presentación Gráfica y Escrita. Utiliza los gráficos generados y las estadísticas descriptivas para presentar los resultados de manera clara y concisa en informes o publicaciones científicas.

Discusión de Hallazgos. Explica cómo los resultados cualitativos se integran con los análisis cuantitativos y qué implicaciones tienen para la práctica en la Ingeniería Química Ambiental.

Este procedimiento permite realizar un análisis riguroso y sistemático de datos cualitativos en un contexto ambiental, apoyando la toma de decisiones informadas y la generación de conocimiento científico aplicable a datos cualitativos (SPSS-Minitab-Statgraphics 18).

Distribución de Frecuencias

Es un conjunto de diferentes puntuaciones respecto a cada variable ordenada en relación a sus categorías que de manera general se presenta mediante una tabla.

Ejemplo: En un estudio entre 200 personas que viven en la ciudad de Lima, se les realizó la siguiente pregunta: Cómo le gustaría que se les considere según su origen étnico. Sus respuestas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6. Ejemplo de una distribución de frecuencias

Variable: Preferencias al relacionar el origen étnico Nombrada en SPSS		
Categorías	Códigos (Valores)	Frecuencias
Hispano	1	52
Latino	2	88
Latinoamericano	3	6
Americano	4	22
Otros	5	20
No respondieron	6	12

Fuente: elaboración propia

A veces, las diferentes categorías de la distribución de frecuencia son amplias que requieren resumirlas, por ejemplo.

Tabla 7. Ejemplo 2 de una distribución de frecuencias.

Variable: Calificación en la prueba de medidas ecoeficiente			
Categorías	Frecuencia	Categoría	Frecuencia
48	7	60	1
55	2	64	4
56	3	78	3
57	5	80	1
Total			27

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Ejemplo de una distribución resumida.

Variable: Calificación en la prueba de medidas ecoeficiente	
55 o menos	9
56-60	8
61-65	5
66-80	4

Fuente: elaboración propia

Otros Elementos que Pueden Incluir una Distribución de Frecuencias.

Las distribuciones de frecuencias generalmente son completadas añadiendo los porcentajes de los diferentes casos según la categoría, los porcentajes de carácter válido (excluyendo los valores perdidos) y los porcentajes acumulados (porcentaje de 10 que se va acumulando en cada categoría, desde la más baja hasta la más alta).

Medidas de Tendencia Central

Aunque las medidas de tendencia central se asocian frecuentemente con datos cuantitativos, también son aplicables en el análisis de datos cualitativos. Esto es particularmente relevante en investigaciones donde se recogen percepciones, opiniones o clasificaciones que no se pueden cuantificar directamente. En estos casos, la moda es la medida de tendencia central más útil, ya que permite identificar la categoría más representativa o la que se presenta con mayor frecuencia en el conjunto de datos. Esta aplicación es especialmente valiosa en estudios de mercado, investigaciones sociológicas y análisis de encuestas cualitativas.

Por ejemplo, si en una encuesta se pide a los participantes que elijan entre varias categorías de satisfacción, como “muy satisfecho”, “satisfecho”, “neutral”, “insatisfecho”, y “muy insatisfecho”, la moda sería la categoría seleccionada por el mayor número de personas. Identificar esta moda permite a los investigadores y analistas comprender cuál es la tendencia predominante en las percepciones de los participantes. En estudios de percepción de riesgo, como en la evaluación del impacto de un fenómeno natural, la moda puede revelar la categoría de riesgo más frecuentemente percibida por una comunidad, como “alta”, “media” o “baja”.

Además, la moda en datos cualitativos puede ser útil para la segmentación de mercados o grupos. Por ejemplo, si se descubre que la mayoría de los encuestados en un estudio de marketing asocian una marca con la palabra “innovadora”, esa categoría puede guiar las estrategias publicitarias y de branding. La moda también es aplicable en estudios de comportamiento, como identificar el tipo de actividad recreativa más popular entre diferentes grupos etarios, lo que puede ayudar en la

planificación de políticas públicas o el desarrollo de productos. Dentro de algunos ejemplos de medidas de tendencia central tenemos:

Estudio de Satisfacción Laboral. Si la mayoría de los empleados describen su satisfacción laboral como “alta”, esta categoría se considera la moda y puede indicar una percepción general positiva en la empresa.

Percepción del Servicio al Cliente. En una encuesta donde las opciones son “excelente”, “bueno”, “regular”, y “malo”, si la mayoría elige “bueno”, esta categoría sería la moda y reflejaría la opinión más común entre los clientes.

Preferencia de Colores en un Estudio de Diseño. Si la mayoría de los encuestados prefieren el color “azul” para un nuevo producto, entonces “azul” es la moda, y puede influir en las decisiones de diseño.

Medidas de Variabilidad

Las medidas de variabilidad, también llamadas medidas de dispersión son esenciales para obtener una visión completa del comportamiento de un conjunto de datos. Mientras que las medidas de tendencia central como la media, la mediana y la moda nos indican el valor promedio o más frecuente de los datos, las medidas de variabilidad revelan cuán alejados están los datos entre sí o respecto a un valor central. Esto es crucial porque dos conjuntos de datos pueden tener la misma media, pero si uno tiene una mayor dispersión, sus valores estarán más esparcidos, indicando una mayor variabilidad.

Entre las medidas de variabilidad más comunes se encuentran el rango, la varianza, la desviación estándar y el rango intercuartílico. El rango es la diferencia entre el valor más alto y el más bajo en un conjunto de datos, proporcionando una medida simple de la amplitud de los valores. Sin embargo, el rango puede ser influenciado por valores atípicos, por lo que otras medidas, como la varianza y la desviación estándar, son más útiles en situaciones donde se requiere una evaluación más robusta de la dispersión.

La varianza es una medida que calcula la media de los cuadrados de las diferencias entre cada valor y la media del conjunto de datos. Es útil para entender la variabilidad, pero debido a que se expresa en unidades cuadradas, puede ser menos intuitiva. Por ello, se utiliza la desviación estándar, que es la raíz cuadrada de la varianza, para expresar la dispersión en las mismas unidades que los datos originales. Una desviación estándar alta indica que los datos están más dispersos alrededor de la media, mientras que una baja sugiere que los valores están más concentrados cerca de la media.

El rango intercuartílico (IQR) es otra medida útil de dispersión, especialmente cuando se quiere evitar la influencia de valores extremos o atípicos. El IQR se calcula restando el primer cuartil (Q1) del tercer cuartil (Q3) y representa la amplitud del rango central del 50% de los datos. Este método es particularmente útil en análisis de datos no paramétricos o en situaciones donde los valores extremos pueden distorsionar otras medidas de variabilidad. Por ejemplo, algunos tipos de medidas de variabilidad son:

Análisis de Rendimiento Académico. Si dos grupos de estudiantes tienen la misma media en sus calificaciones, pero uno tiene una desviación estándar más alta, esto indica que las calificaciones en ese grupo están más dispersas, y hay más variabilidad en el rendimiento académico.

Estudio de Precios de Viviendas. Al comparar los precios de viviendas en dos barrios diferentes, se podría encontrar que ambos tienen la misma media de precios, pero el barrio con una mayor varianza tiene precios más diversos, lo que sugiere una mayor variedad en el tamaño, calidad o ubicación de las propiedades.

Evaluación de Tiempos de Respuesta. En un servicio al cliente, si el rango de tiempos de respuesta es amplio, esto podría indicar inconsistencia en la eficiencia del servicio. Un rango intercuartílico más bajo podría reflejar un servicio más constante y confiable.

Investigación en Mercado Laboral. Si se evalúan los salarios en una industria, la desviación estándar puede mostrar la disparidad salarial. Un rango estrecho y una baja desviación estándar pueden indicar equidad salarial, mientras que una alta desviación estándar puede señalar grandes diferencias en los salarios, tal vez debido a la variación en las habilidades, experiencia o responsabilidades.

Gráficas

Gráfico de Barras. El gráfico de barras es uno de los más comunes para representar datos cualitativos. Cada categoría se representa mediante una barra, cuya altura corresponde a la frecuencia o el porcentaje de ocurrencia de esa categoría.

Gráfico de Sectores. El gráfico de sectores, también conocido como gráfico circular o de pastel, divide un círculo en sectores que representan las diferentes categorías de los datos cualitativos. El tamaño de cada sector es proporcional a la frecuencia o porcentaje de esa categoría.

Gráfico de Secuencias Acumuladas. Aunque más comúnmente utilizado en datos cuantitativos, un gráfico de frecuencias acumuladas puede adaptarse

para datos cualitativos, mostrando el número total de ocurrencias a medida que se acumulan categorías.

Gráfico de Pareto. Un gráfico de Pareto es un tipo especial de gráfico de barras donde las categorías están ordenadas de mayor a menor frecuencia, y a menudo se combina con una línea que muestra el porcentaje acumulado. Es útil para identificar las categorías más significativas en un conjunto de datos.

Gráfico de Mosaico. El gráfico de mosaico es útil para representar datos cualitativos que tienen más de una variable categórica. Las áreas de los rectángulos en el gráfico son proporcionales a la frecuencia de las combinaciones de categorías.

Análisis Paramétrico

El análisis paramétrico consiste en un conjunto de métodos estadísticos que se aplican para estudiar datos bajo la premisa de que siguen una distribución predefinida, comúnmente la distribución normal. Se les denomina “paramétricas” porque dependen de ciertos parámetros específicos de la distribución, como la media y la varianza en el caso de la distribución normal. Este tipo de análisis se utiliza frecuentemente en la ingeniería ambiental para evaluar y modelar fenómenos complejos. Gracias a estas técnicas, los ingenieros ambientales pueden analizar, interpretar y prever datos relacionados con procesos naturales y humanos, lo que facilita la toma de decisiones en la gestión del medio ambiente (Emilse, 2021).

A medida que aumenta el tamaño de la muestra, la estimación se vuelve más precisa, mientras que, con muestras más pequeñas, la media puede estar más sesgada. Además, las suposiciones se fundamentan en cifras numéricas, con un enfoque particular en los promedios (Mayorga et al., 2022).

Según Mayorga et al. (2022), las ventajas y desventajas de los métodos paramétricos son:

Ventajas de los Métodos Paramétricos

1. Mayor eficiencia.
2. Baja probabilidad de cometer errores.
3. Las estimaciones son precisas.
4. Son sensibles a las características de los datos recopilados.
5. Muestras de gran tamaño.

Desventajas de los Métodos Paramétricos

1. Difíciles de calcular.
2. Tienen una restricción en los datos.

Coefficiente de Correlación

Según Correa (2021), el coeficiente de correlación es una métrica que refleja tanto la intensidad como la dirección de la relación lineal entre dos variables. Se suele representar con la letra r (en el caso de la correlación de Pearson). El valor de r puede variar entre -1 y 1 :

$r = 1$: Correlación positiva perfecta.

$r = -1$: Correlación negativa perfecta.

$r = 0$: No hay correlación lineal.

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma X * \sigma Y}$$

Este coeficiente se calcula utilizando la fórmula:

Donde:

$Cov(X, Y)$: es la covarianza entre X y Y

σX : Desviación estándar de X

σY : Desviación estándar de Y

Aplicación del Coeficiente de Correlación en Temas de Ingeniería Química Ambiental. Según Apaza et al. (2022), el coeficiente de correlación se emplea para evaluar la relación entre dos variables ambientales, como la concentración de contaminantes y las condiciones climáticas. Por ejemplo, se puede analizar la correlación entre la cantidad de partículas suspendidas en el aire y la velocidad del viento, con el fin de comprender cómo las condiciones meteorológicas afectan la dispersión de contaminantes

Importancia del Coeficiente de Correlación en Temas de Ingeniería Química Ambiental. El análisis de este coeficiente permite identificar patrones y conexiones importantes que son clave para diseñar estrategias de control de la contaminación y abordar otros temas ambientales.

Regresión Lineal

Según Arellano y Peña (2020), la regresión lineal es una técnica utilizada para representar la relación entre una variable dependiente Y y una o varias variables independientes X . En su forma más básica, la regresión lineal simple se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X + \epsilon$$

Donde:

Y : Es la variable dependiente.

X : Es la variable independiente.

β_0 : Es la intersección o término constante.

β_1 : Es la pendiente del modelo de regresión.

ϵ : Es el término de error.

Se deben estimar los coeficientes β_0 y β_1 que permitan minimizar la suma de los errores al cuadrado, conocidos como residuos, que representan la diferencia entre los valores observados y los valores estimados por el modelo.

Aplicación de la Regresión Lineal en Temas de Ingeniería Química Ambiental. La regresión lineal se emplea para representar la relación entre una variable dependiente, como la calidad del agua, y una o más variables independientes, como la temperatura, el pH y la concentración de nutrientes. Este método permite prever cómo podría variar la calidad del agua en distintos escenarios ambientales (Carreres et al., 2022).B

Importancia de la Regresión Lineal en Temas de Ingeniería Química Ambiental. La regresión lineal permite desarrollar modelos predictivos cruciales para la gestión de recursos hídricos, el control de la contaminación y la planificación del uso del suelo.

Prueba t

La prueba t es un análisis estadístico que se emplea para verificar si existe una diferencia significativa entre las medias de dos grupos. Es una herramienta frecuente en estadística inferencial utilizada para contrastar hipótesis sobre las medias de una o dos poblaciones. Esta prueba determina si las diferencias observadas en los datos son lo suficientemente notables como para no ser atribuibles al azar (Sánchez, 2015).

Prueba t para una Muestra (One-Sample t-test). Se emplea para contrastar la media de una única muestra con un valor conocido o hipotético, como podría ser un estándar poblacional. Por ejemplo, se puede utilizar para determinar si la altura promedio en una muestra de personas difiere significativamente de una altura media previamente conocida en la población.

Donde:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

\bar{X} : Es la media de la muestra

μ_0 : Es la media hipotética de la población

s : Es la desviación estándar de la muestra

n : Es el tamaño de la muestra.

Prueba t para Dos Muestras Independientes (Independent t-test). Se utiliza para comparar las medias de dos grupos que son independientes entre sí, como al contrastar los resultados de un examen entre dos grupos de estudiantes que no están relacionados. Otro ejemplo sería comparar los niveles de contaminantes en dos ríos distintos.

Donde:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

\bar{X}_1 y \bar{X}_2 : Son las medias de las dos muestras

s_1 y s_2 : Son las desviaciones estándar de las dos muestras

n_1 y n_2 : Son los tamaños de las dos muestras.

Prueba t para Muestras Pareadas (Paired t-test). Se aplica cuando las dos muestras están vinculadas, como en un estudio donde se comparan datos antes y después de una intervención en el mismo grupo de participantes.

Interpretación de la Prueba t. El valor t es el resultado obtenido tras el cálculo, el cual se compara con un valor crítico de la distribución t de Student. Este valor es clave para decidir si se rechaza la hipótesis nula.

El valor p representa la probabilidad de obtener un valor t tan extremo como el observado, asumiendo que la hipótesis nula es cierta. Si este valor p es inferior

al nivel de significancia (por ejemplo, $\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula lo cual indica que existe una diferencia significativa.

Aplicación de la Prueba t en Temas de Ingeniería Química Ambiental.

La prueba t se utiliza para contrastar las medias de dos conjuntos de datos ambientales, como las concentraciones de contaminantes antes y después de aplicar una medida de control. Por ejemplo, se podría aplicar una prueba t para medir la efectividad de una planta de tratamiento de aguas residuales, comparando las concentraciones de contaminantes en el agua antes y después del proceso de tratamiento.

Importancia de la Prueba t en Temas de Ingeniería Química Ambiental.

Esta prueba es fundamental para evaluar la relevancia de las diferencias observadas y determinar si los cambios en el entorno se deben a las intervenciones realizadas o si son resultado de variaciones naturales.

Varianza

La varianza es una medida que indica la dispersión dentro de un conjunto de datos. Se define como el promedio de los cuadrados de las diferencias entre cada valor y la media. De manera matemática, la varianza de una variable X se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Donde:

n : Es el número de observaciones,

X_i : Son los valores individuales

\bar{X} : Es la media de los valores.

Aplicación de la Varianza en Temas de Ingeniería Química Ambiental.

La varianza se emplea para evaluar la dispersión de datos ambientales, como las concentraciones de contaminantes en distintos puntos de un río o las emisiones de gases a lo largo del día. Por ejemplo, calcular la varianza de las mediciones de calidad del aire en diferentes estaciones de monitoreo puede ayudar a identificar zonas con niveles de contaminación que varían significativamente.

Importancia de la Varianza en Temas de Ingeniería Química Ambiental.

Entender la variabilidad en los datos ambientales es fundamental para detectar fuentes de contaminación y zonas de riesgo, lo que a su vez orienta las políticas para su mitigación y control.

Covarianza

La covarianza evalúa cómo dos variables cambian de manera conjunta. Si ambas variables tienden a subir o bajar al mismo tiempo, la covarianza será positiva. En cambio, si una variable aumenta mientras la otra disminuye, la covarianza será negativa. La covarianza entre X e Y se determina de la siguiente manera:

$$\text{Cov}(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

Donde:

\bar{X} y \bar{Y} : Son las medias de X y Y respectivamente.

Aplicación de la Covarianza en Temas de Ingeniería Química Ambiental.

La covarianza se utiliza para evaluar cómo dos variables ambientales cambian conjuntamente, como en el caso de la covarianza entre la concentración de CO₂ y la temperatura en un área urbana. Este análisis ayuda a entender cómo ciertos factores ambientales están interrelacionados, lo cual es esencial en investigaciones sobre el cambio climático y en la modelación de ecosistemas.

Importancia de la Covarianza en Temas de Ingeniería Química Ambiental.

La covarianza facilita la comprensión de las interdependencias entre diversas variables ambientales, lo cual es fundamental para el modelamiento integrado de sistemas complejos como los ciclos biogeoquímicos.

Análisis No Paramétrico

Las pruebas no paramétricas son aquellas que no requieren suponer una distribución específica para los datos, por lo que también se les llama pruebas de distribución libre. En la mayoría de estos casos, los resultados estadísticos se obtienen a través de procedimientos de ordenamiento y conteo, lo que hace que su fundamento lógico sea fácil de entender. Es recomendable utilizar pruebas no paramétricas cuando se trabaja con muestras pequeñas ($n < 10$) y no se puede asegurar que los datos sigan una distribución normal, al menos para confirmar los resultados obtenidos utilizando métodos que suponen normalidad (Ponce et al., 2022).

Ventajas de los Métodos No Paramétricos

Los métodos no paramétricos son aplicables a una gran variedad de situaciones, ya que no poseen las estrictas exigencias de los métodos paramétricos. En especial, estos métodos no necesitan que las poblaciones sigan una distribución normal.

A diferencia de los métodos paramétricos, los métodos no paramétricos suelen aplicarse a datos no numéricos, como, por ejemplo, el género de los participantes en una encuesta.

Los métodos no paramétricos generalmente implican cálculos más sencillos en comparación con los métodos paramétricos, lo que los hace más fáciles de comprender y utilizar.

Desventajas de los Métodos No Paramétricos

Los métodos no paramétricos tienden a perder información, ya que los datos numéricos precisos suelen ser simplificados de una forma cualitativa.

Las pruebas no paramétricas suelen ser menos eficientes que las pruebas paramétricas, lo que significa que, al utilizar una prueba no paramétrica, generalmente se requiere una evidencia más contundente (como una muestra de mayor tamaño o diferencias más pronunciadas) para rechazar la hipótesis nula.

Prueba de Bondad de Ajuste Chi Cuadrado

Estas pruebas permiten comprobar si la población de la cual se extrae una muestra sigue una distribución específica o asumida (Tapia y Cevallos, 2023).

Sea X: variable aleatoria poblacional, $f_O(x)$ la distribución (o densidad) de probabilidad especificada o supuesta para X

La intención es verificar la siguiente hipótesis:

$$H_0: f(x) = f_0(x)$$

En comparación con la hipótesis alternativa:

$$H_1: f(x) \neq f_0(x) \text{ (negación de } H_0)$$

Frecuencias esperadas (teóricas), a las que denotaremos por $e_1, e_2, e_3, \dots, e_k$. Se cumplirá:

$$e_1 + e_2 + e_3 + \dots + e_k = n$$

Tabla 9. Tabla de frecuencias por clases.

Clase	Frecuencia O	Frecuencia E
Clase 1	O ₁	e ₁
Clase 2	O ₂	e ₂
...
Clase k	O _k	e _k
Total	n	n

Fuente: elaboración propia

El estadístico de contraste será:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Donde:

O_i: Frecuencia observada en la categoría i.

e_i: Frecuencia esperada en la categoría i, calculada bajo la hipótesis nula.

Prueba de Independencia y prueba de homogeneidad

Concretamente, usaremos el estadístico:

$$\chi^{2*} = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Donde:

O_i: Frecuencia observada en la celda i.

E_i: Frecuencia esperada en la celda iii, calculada como:

E_i = (Total de fila i) × (Total de columna i) / (Total general)

Coefficiente de Correlación de Spearman (ρ)

El coeficiente de correlación de Spearman se basa en los rangos $r(x_i)$ y $r(y_i)$ de los valores x_i y y_i después de ordenar cada muestra por separado (Pinilla y Rico, 2021).

Una asociación directa perfecta entre X y Y se manifiesta cuando los datos de las muestras están ordenados de manera idéntica. En este escenario, las diferencias $d_i = r(x_i) - r(y_i)$ son iguales a 0 para $i = 1, 2, 3, \dots, n$, y $d = \sum d_i^2 = 0$. A medida que d aumenta, la evidencia de esta asociación se debilita.

En el extremo opuesto, una asociación inversa perfecta ocurre cuando el orden ascendente de una variable se corresponde exactamente con el orden descendente de la otra. En este caso, si un dato x está en la posición i en una variable, el dato correspondiente y estará en la posición $n-i+1$. Por lo tanto, la diferencia d_i se calcula como $i - (n-i+1) = 2i - (n+1)$ y la suma de las diferencias al cuadrado d es $\sum d_i^2 = n(n^2-1)/3$

La ecuación de la recta que pasa por los puntos ($d = 0$, $\rho = 1$) (máxima asociación directa) y $d = n(n^2-1)/3$, $\rho = -1$)

(Asociación inversa extrema) arroja la expresión del coeficiente de correlación de Spearman:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

d_i : Diferencia entre los rangos de cada par de observaciones.

n : Número de observaciones.

Cuando no existen valores repetidos ni entre las x ni entre las y dado que d es un número entero entre 0 y $n(n^2-1)/3$ el número máximo de valores distintos que puede asumir p es $1 + n(n^2-1)/3$ Además, este valor coincide con el coeficiente de correlación de Pearson aplicado a los rangos de los datos.

El punto medio del segmento que une los extremos mencionados se encuentra en $d = n(n^2-1)/6$. En este punto, $p = 0$, lo que sugiere que no hay evidencia que favorezca ni una relación directa ni una inversa entre X e Y .

El punto medio del segmento que une los extremos anteriores corresponde a $d = n(n^2-1)/6$. Allí $p = 0$, indicando que las evidencias no favorecen ni una relación directa ni una inversa entre X y Y .

Coeficiente de Correlación de Kendall (τ)

El coeficiente de correlación de rango de Kendall, o Tau de Kendall, es una medida no paramétrica para evaluar la asociación en datos ordinales. Los datos ordinales son variables categóricas que poseen un orden natural con tres o más niveles, como “totalmente en desacuerdo”, “en desacuerdo”, “neutral”, “de acuerdo” y “totalmente de acuerdo”. Para medir la asociación entre dos variables ordinales, se utilizan tablas cruzadas (Morales y Rodríguez, 2016).

Se tienen las siguientes condiciones del coeficiente de correlación de rango de Kendall:

Las variables utilizadas deben ser de nivel ordinal, intervalo o razón.

Su resultado debe encontrarse en el rango de -1 a 1.

Los procedimientos para realizar Tau de Kendall son los siguientes:

En primer lugar, las observaciones en la variable X se ordenan del 1 al N , y de manera similar, las observaciones en la variable Y también se ordenan del 1 al N .

Luego los rangos de la variable X de los sujetos se organizan en una lista de N sujetos según su orden natural (1, 2, 3, ..., N).

Se observa el orden en que aparecen los rangos de Y cuando los rangos de X están ordenados de manera natural. Luego, se calcula el valor de S , que representa la suma de los rangos de Y .

Posteriormente, si no hay empates las observaciones de X o de Y, se usa la fórmula:

$$T_{XY} = \frac{2 \cdot S}{n(n-1)}$$

Donde:

$$S = P - M.$$

P= Nro. de valores positivos o “Acuerdos”. Esto es el número de veces de incrementos de Y conforme se incrementa X, o el número de $y_i < y_j$ para todo $i < j$.

M = Nro. de valores Negativos o “Desacuerdos”. Esto es el número de veces que disminuye Y cuando se incrementa X, o el número de $y_i > y_j$ para $i < j$. Para todo $i = 1, \dots, (n-1)$ y $j = (i + 1), \dots, n$.

Para calcular el valor “t”. Si hay empates, se usa la fórmula:

$$T = \frac{2 \cdot S}{\sqrt{n(n-1) - T_x} \cdot \sqrt{n(n-1) - T_y}}$$

Donde:

$T_x = \sum_{i=1}^n t(t-1)$, siendo t el número de observaciones empatadas en cada grupo de empates de la variable X.

$T_y = \sum_{i=1}^n t(t-1)$, siendo t el número de observaciones empatadas en cada grupo de empates de la variable Y.

Capítulo VII

Análisis De Datos

Datos Cualitativos

Introducción A Los Datos Cualitativos

El análisis de datos cualitativos es una herramienta crucial en el campo de la ingeniería ambiental. Este tipo de análisis se enfoca en la comprensión profunda de los fenómenos ambientales a través de la interpretación de datos no numéricos. En estudios ambientales, los datos cualitativos pueden provenir de una variedad de fuentes, incluyendo entrevistas, grupos focales, observaciones y documentos.

La ingeniería ambiental no solo se ocupa de los aspectos técnicos y científicos del control y mitigación de la contaminación, sino que también considera las percepciones, actitudes y comportamientos de las personas y comunidades afectadas. Los datos cualitativos permiten a los ingenieros y científicos ambientales captar estos aspectos, ofreciendo una visión holística y detallada de los problemas ambientales.

Por ejemplo, al evaluar la aceptación pública de un proyecto de energía renovable, las entrevistas y grupos focales pueden revelar preocupaciones y expectativas de la comunidad que no se pueden cuantificar fácilmente. Estas percepciones son esenciales para el diseño y la implementación exitosa de soluciones ambientales que sean socialmente aceptables y sostenibles.

En el contexto de la ingeniería ambiental, las fuentes de datos cualitativos pueden incluir entrevistas, grupos focales, observaciones y documentos y medios. Las entrevistas recopilan información a través de conversaciones estructuradas o semiestructuradas con individuos o grupos que tienen conocimientos o experiencias relevantes sobre el tema estudiado. Por ejemplo, entrevistas con residentes locales sobre los efectos de la contaminación del agua. Los grupos focales son discusiones en grupo dirigidas que reúnen a participantes con características comunes para explorar sus opiniones y experiencias sobre temas ambientales específicos, como la percepción de los riesgos asociados con proyectos industriales. Las observaciones son el registro sistemático de comportamientos y eventos en contextos naturales. Por ejemplo, observar cómo las comunidades utilizan los recursos naturales en áreas protegidas. Los documentos y medios incluyen el análisis de contenido de documentos oficiales, informes técnicos, artículos de prensa y publicaciones en redes sociales para comprender las narrativas y discursos en torno a temas ambientales.

El análisis cualitativo es fundamental en diversas áreas de la ingeniería ambiental, tales como la evaluación del impacto ambiental, la gestión de residuos y el cambio climático. En la evaluación del impacto ambiental, los estudios cualitativos ayudan a identificar y comprender los impactos sociales y culturales de los proyectos de desarrollo. Esto es esencial para garantizar que las evaluaciones sean exhaustivas y consideren todas las dimensiones del impacto. En la gestión de residuos, entender las prácticas y actitudes de las comunidades hacia la gestión de residuos y reciclaje puede informar el diseño de programas más efectivos y aceptados. En el cambio climático, las percepciones y comportamientos de las personas en relación con el cambio climático son fundamentales para el desarrollo de políticas y estrategias de mitigación y adaptación.

Además, el análisis cualitativo en la ingeniería ambiental puede facilitar la identificación de conflictos y la creación de soluciones consensuadas. En situaciones donde múltiples partes interesadas están involucradas, como en la gestión de recursos hídricos o la planificación urbana, los métodos cualitativos pueden ayudar a revelar los intereses y preocupaciones subyacentes de los diferentes grupos. Esto, a su vez, puede conducir a una toma de decisiones más inclusiva y equitativa, promoviendo la cooperación y reduciendo las tensiones.

Otra aplicación importante del análisis cualitativo es en la educación y sensibilización ambiental. Comprender cómo las personas perciben los problemas ambientales y qué factores influyen en sus comportamientos puede ser crucial para diseñar campañas educativas y programas de sensibilización más efectivos. Por ejemplo, si se descubre que ciertas comunidades no reciclan debido a la falta de información o acceso a instalaciones adecuadas, las intervenciones pueden ser adaptadas para abordar estos obstáculos específicos.

El análisis cualitativo también juega un papel vital en la investigación participativa y la ciencia ciudadana. Involucrar a las comunidades locales en el proceso de investigación no solo empodera a los participantes, sino que también enriquece los datos recopilados con perspectivas y conocimientos locales. Esto es especialmente valioso en proyectos de conservación y manejo de ecosistemas, donde el conocimiento tradicional y las prácticas locales pueden ofrecer soluciones innovadoras y sostenibles.

El análisis cualitativo en la ingeniería ambiental ayuda a construir narrativas que pueden influir en las políticas y en la opinión pública. A través de la recolección y presentación de testimonios y experiencias vividas, los ingenieros ambientales pueden humanizar los datos y hacer más tangible la urgencia de los problemas ambientales. Esto puede ser particularmente efectivo para movilizar el apoyo para políticas ambientales y generar cambios significativos en la sociedad.

Un área adicional en la que el análisis cualitativo demuestra su valor es en la gestión de desastres ambientales. Comprender las experiencias y respuestas de las comunidades afectadas por desastres naturales o incidentes de contaminación es crucial para desarrollar estrategias de respuesta y recuperación más efectivas. Entrevistas y grupos focales con sobrevivientes y líderes comunitarios pueden proporcionar información valiosa sobre las necesidades inmediatas y a largo plazo, así como sobre la efectividad de las respuestas iniciales y las áreas que necesitan mejoras.

Asimismo, el análisis cualitativo es fundamental para la planificación y gestión de áreas protegidas y reservas naturales. Las percepciones y el conocimiento local de las comunidades indígenas y residentes locales sobre el uso y conservación de los recursos naturales pueden informar políticas y prácticas de manejo más inclusivas y sostenibles. Este enfoque permite la integración de saberes tradicionales y científicos, creando estrategias de conservación que respetan la cultura y el medio de vida de las comunidades locales.

La integración de métodos cualitativos también enriquece la evaluación de la sostenibilidad urbana. La planificación urbana sostenible no solo depende de datos cuantitativos sobre la densidad poblacional o el uso del suelo, sino también de la comprensión cualitativa de cómo los habitantes experimentan y utilizan los espacios urbanos. Entrevistas y observaciones pueden revelar cómo se perciben las áreas verdes, la accesibilidad a servicios, la seguridad y otros aspectos críticos para el bienestar urbano, informando diseños más inclusivos y vivibles.

Además, el análisis cualitativo permite a los ingenieros ambientales abordar cuestiones de justicia ambiental. Las comunidades vulnerables a menudo enfrentan una carga desproporcionada de los impactos ambientales negativos. A través de métodos cualitativos, se puede captar la voz de estas comunidades, documentar sus experiencias y luchas, y abogar por políticas que promuevan la

equidad ambiental. Esto incluye evaluar cómo las políticas ambientales afectan a diferentes grupos socioeconómicos y asegurar que las intervenciones no perpetúen o exacerban las desigualdades existentes.

Finalmente, el análisis cualitativo contribuye a la innovación y mejora continua en la ingeniería ambiental. Al involucrar a las partes interesadas y recoger sus experiencias y sugerencias, los ingenieros pueden identificar nuevas ideas y enfoques para abordar los desafíos ambientales. Este ciclo de retroalimentación cualitativa fomenta una cultura de aprendizaje y adaptación, esencial para enfrentar los complejos y dinámicos problemas ambientales del siglo XXI.

Métodos de Análisis Cualitativo

Codificación y Categorización

Codificación. La codificación y categorización son métodos de análisis cualitativos que forman parte del proceso que se utiliza para el análisis de datos. En el cual, el proceso de codificación de los datos prácticamente se le puede mencionar que consiste en la asignación de una palabra o frase corta que asigna un valor o atributo a un conjunto de datos, en donde estos datos son obtenidos de la realización de una serie de acciones que dan como resultado información proveniente de documentos, correos, encuestas entre otros, en donde se le asigna etiquetas a segmento de datos como palabras, frases, oraciones o párrafos.

Los códigos pueden ser breves palabras, frases o símbolos que representan una idea o mensaje que se le quiere dar al espectador dependiendo del enfoque metodológico, como línea por línea o párrafo por párrafo. Es por ello, que para poder codificar los datos cualitativos se requiere de la presencia de un investigador capaz de identificar los patrones y temas de los datos provenientes del estudio que se realiza por lo que resulta ser complejo cuando se trabajan con datos cualitativos quienes no son numéricos y que se le da una forma estructurada propia de la categoría en la que se le considera incluida.

Además, para este enfoque Gibbs resalta lo siguientes puntos:

- La codificación es un proceso de análisis que implica identificar la información en el texto que ejemplifica una idea temática asociada con un código, el cual se presenta como una abreviatura de dicha idea.
- Un desafío de la codificación es que puede quedarse en un nivel meramente descriptivo de las percepciones de los participantes, cuando lo ideal es alcanzar un análisis que permita elaborar explicaciones teóricas a partir de los relatos.

- Para asegurar una reflexión profunda sobre los datos, se comparan las narraciones que comparten el mismo código, observando cómo varían entre los casos y en relación con las diferentes codificaciones del texto.

Los tipos de codificaciones que se presentan pueden ser clasificados como:

- **Codificación con patrones:** Agrupación de datos por conceptos en grupos por similitudes, diferencias, frecuencia de ocurrencia, entre otros aspectos, esto permite la identificación de patrones que comparten atributos.
- **Codificación con filtros, lentes y ángulos:** Este enfoque de codificación requiere que el investigador utilice su lente analítica para interpretar y percibir los datos, aplicando diferentes filtros y considerando el ángulo desde el cual se analiza la información.

Asimismo, las técnicas empleadas en la codificación generalmente vienen a ser estándares y guiadas de acuerdo al enfoque que se le quiere dar a esta línea, siendo los más comunes:

- **Codificación Línea por Línea:** Asigna códigos a cada línea del texto, lo que permite un análisis detallado.
- **Codificación por Incidente:** Enfocada en identificar y codificar eventos específicos o incidentes dentro de los datos.
- **Codificación Temática:** Agrupa segmentos de datos que corresponden a un tema específico, facilitando la identificación de patrones comunes.

Ventajas de la Codificación

Adquisición de información profunda y completa sobre datos

A medida que se van codificando los datos se tiene que observar detalladamente y minuciosamente cada párrafo u oración que conforma lo que es el texto para que de esta manera poder adquirir un juicio sobre lo que se llegar a entender en su significado, por lo que la codificación permitirá enfocar los aspectos en los cuales los datos han sido recopilados por lo que se dará una percepción más fija sobre los datos que se quiere incluir en el texto.

Hace que los datos sean más accesibles y recuperables

El trabajo empírico cualitativo se caracteriza en que sus procesos pueden ser continuado durante largos periodos de tiempo, los que conlleva a que en ese tiempo los datos puedan desvanecerse o que las plataformas en las que se encuentran pueden deshabilitarse o dejar de funcionar, por lo que el acceso a estas fuentes de información es importante para la obtención

de información, y al modificarlo permite tener una ruta alterna para su recuperación.

Garantiza la validez

La codificación es un proceso crucial para transformar los datos en bruto en hallazgos, y también es fundamental para asegurar la coherencia entre el objetivo del estudio y los resultados obtenidos. A través de la codificación, se garantiza que las preguntas planteadas sean las que realmente se han respondido. Aunque las preguntas iniciales pueden evolucionar durante el proceso de investigación, especialmente en enfoques inductivos, es esencial al final alinear las preguntas seleccionadas con las respuestas encontradas. Además, este proceso brinda una excelente oportunidad para confrontar el sesgo de confirmación, buscando evidencias que contradigan las suposiciones iniciales en el material empírico.

Categorización. Por otro lado, cuando se refiere al significado de categorización, y se relaciona con la codificación, se puede mencionar que viene a ser aquel proceso que se encarga de agrupar los códigos en categorías más amplias y significativas que capturan temas o patrones más generales, en donde estas categorías permiten organizar y simplificar la información, facilitando la identificación de relaciones entre diferentes partes de los datos, por lo que su utilización ayuda a construir una comprensión más profunda del fenómeno estudiado, estructurando los datos en grupos que tienen un significado más amplio en el contexto de la investigación en el cual sus procesos característicos de este método lo conforman:

- **Categorización Deductiva:** Se basa en un marco teórico o en conceptos preconcebidos para organizar los códigos. Este enfoque es útil cuando se quiere probar o explorar teorías específicas.
- **Categorización Inductiva:** Surge directamente de los datos, sin un marco teórico previo. Los códigos se agrupan en categorías basadas en las características emergentes del propio material.
- **Categorización Deductivo-Inductiva:** Comienza con un marco teórico para guiar la codificación, pero permite que surjan nuevas categorías a partir de los datos. Este enfoque combina lo mejor de ambos mundos y es flexible para ajustarse a las características únicas de los datos.
- **Categorización Abductiva:** Inicia con una teoría general, pero permite que la hipótesis emerja y se ajuste a medida que se analiza el material empírico. Este enfoque es iterativo y reflexivo.

Asimismo, diversos autores mencionan que la palabra “categorización”, hace referencia a aquel concepto que abarca aquellas similitudes y aspectos comunes

entre sí lo que hace que se empleen para establecer clasificaciones como el presente ejemplo:



En una investigación de ámbito cualitativo, tal y como se mencionó con anterioridad, se tiene que permiten el análisis y la interpretación de los resultados como producto de una investigación en la búsqueda e identificación de regularidades y de temas de gran relevancia; se tiene que los pasos clave generalmente empleados para poder categorizar datos en una investigación cualitativa viene siendo:

- **Recopilación de datos:** Obtener información cualitativa mediante técnicas como entrevistas, observaciones, revisión de documentos o discusiones grupales.
- **Familiarización:** Examinar detenidamente los datos recogidos para entenderlos y detectar posibles temas o patrones.
- **Codificación inicial:** Asignar códigos o etiquetas preliminares a partes específicas de los datos basados en su contenido o significado.
- **Desarrollo de categorías:** Organizar los códigos iniciales en categorías o temas más generales que reflejen la esencia de la información. Esto incluye identificar semejanzas, diferencias y conexiones entre los códigos.
- **Refinamiento de categorías:** Revisar y ajustar las categorías para asegurar que no se solapen, sean exhaustivas y representen fielmente los datos.
- **Definición de categorías:** Establecer de manera clara las características, límites y criterios de cada categoría para definir su significado y alcance.
- **Etiquetado de categorías:** Asignar nombres o etiquetas descriptivas a las categorías refinadas que reflejan con precisión su contenido y esencias.

Asimismo, se tiene que lo elementos esenciales comúnmente empleados para la selección de información que son indicativos para la selección pertinentes de categorías de acuerdo a sus similitudes, es por ello que se puede mencionar que no es arbitraria, puesto que lo rigen una serie de reglas y principios usando criterios como son:

- **La pertinencia:** Implica considerar únicamente lo que está claramente relacionado con el tema de investigación, al tiempo que permite la inclusión de elementos emergentes que puedan ser relevantes.
- **Relevancia:** El sistema de categorías debe considerar las posibles variaciones o alternativas, por lo tanto, algunas categorías pueden quedar excluidas, dependiendo del diagnóstico y de la realidad observada.
- **Exclusividad:** Las categorías deben ser mutuamente excluyentes, es decir, cada elemento debe pertenecer solo a una categoría. Este principio evita redundancias y confusiones en la clasificación de los datos.
- **Complementariedad:** Es fundamental que las categorías abarquen un conjunto amplio de aspectos del problema o fenómeno estudiado, permitiendo que se complementen entre sí. Esto contribuye a una comprensión más profunda y coherente de la realidad, asegurando que cada categoría aporte información que las demás no cubren.
- **Especificidad:** Cada categoría debe abordar un campo temático específico y claramente delimitado, enfocándose en un área concreta del estudio.
- **Exhaustividad:** El proceso de categorización debe incluir toda la información relevante dentro de las categorías, sin dejar de lado ninguna observación significativa. Esto permite relacionar cada dato con el conjunto y establecer conexiones lógicas entre todas las categorías, delineando claramente sus límites.

Análisis Temático. El análisis temático es un enfoque fundamental en el análisis de datos cualitativos que permite identificar, analizar e interpretar patrones significativos dentro de los datos. Este método es particularmente valioso en la ingeniería ambiental, donde los fenómenos estudiados a menudo involucran aspectos complejos y multifacéticos que no siempre se capturan adecuadamente con datos cuantitativos (Rodríguez et al., 2022). A continuación, se detalla cada etapa del análisis temático, con un enfoque en cómo se aplica en el contexto de la ingeniería ambiental.

Familiarización con los datos. La familiarización con los datos es el primer paso crucial en el análisis temático y sienta las bases para todo el proceso posterior. En esta fase, el investigador se sumerge en el conjunto de datos cualitativos, que puede incluir transcripciones de entrevistas, notas de grupos focales, registros de observación y documentos. El objetivo es obtener una comprensión integral del contenido y el contexto de los datos. Este proceso implica leer y releer los datos para identificar temas generales y obtener una visión inicial de las ideas y perspectivas predominantes.

Durante esta fase, es esencial que el investigador mantenga una mente abierta y un enfoque reflexivo, ya que la familiarización no solo ayuda a identificar temas preliminares, sino que también permite al investigador detectar posibles sesgos o preconcepciones que podrían influir en el análisis. En el contexto de la ingeniería ambiental, esta etapa puede revelar las preocupaciones y percepciones iniciales de las comunidades sobre un proyecto ambiental, permitiendo al investigador captar el tono y el contexto de las respuestas antes de proceder a la codificación (Sánchez et al., 2022).

Generación de Códigos Iniciales. Una vez que el investigador está familiarizado con los datos, el siguiente paso es la generación de códigos iniciales. La codificación es un proceso analítico que implica la creación de etiquetas descriptivas para fragmentos específicos de datos. Estos códigos pueden ser simples, como palabras clave que describen el contenido literal, o más complejos, como conceptos interpretativos que reflejan significados más abstractos. La codificación permite descomponer grandes volúmenes de datos en unidades manejables y facilita la organización de la información para el análisis posterior.

La generación de códigos iniciales es un proceso iterativo que requiere una revisión constante y refinamiento. A medida que se codifican más datos, el investigador puede descubrir patrones y temas emergentes que requieren ajustes en los códigos. En la ingeniería ambiental, los códigos iniciales pueden ayudar a identificar aspectos clave como preocupaciones ambientales recurrentes, actitudes hacia políticas de gestión de recursos o barreras percibidas para la adopción de prácticas sostenibles (Sánchez et al., 2022).

Búsqueda de Temas. La búsqueda de temas es una etapa crítica en el análisis temático, donde los códigos generados se agrupan en categorías más amplias que representan temas significativos. Esta etapa implica la revisión y organización de los códigos en temas que reflejan patrones recurrentes y conexiones dentro de los datos. Los temas son constructos interpretativos que emergen de la información y proporcionan una base para comprender las dimensiones más amplias del fenómeno estudiado.

En la ingeniería ambiental, la búsqueda de temas puede revelar patrones en cómo diferentes grupos de interés perciben y responden a problemas ambientales. Por ejemplo, al analizar las respuestas de las comunidades sobre un proyecto de energía renovable, los temas emergentes podrían incluir preocupaciones sobre el impacto ambiental, expectativas de beneficios comunitarios y percepciones de justicia social. Estos temas permiten una comprensión más profunda de las dinámicas sociales y ambientales que afectan la aceptación y el éxito de los proyectos (Sánchez et al., 2022).

Revisión de Temas. La revisión de temas es una fase en la que los temas identificados se evalúan en términos de coherencia, relevancia y claridad. En

esta etapa, el investigador revisa los temas para asegurarse de que representan de manera precisa y completa los datos recopilados. Esto puede implicar la combinación de temas similares, la modificación de temas existentes o la eliminación de aquellos que no aportan valor significativo.

La revisión de temas es crucial para garantizar que el análisis sea robusto y confiable. En el contexto de la ingeniería ambiental, una revisión cuidadosa de los temas puede ayudar a identificar y corregir posibles sesgos en el análisis, asegurar que los temas reflejen fielmente las experiencias y percepciones de las comunidades y proporcionar una base sólida para la formulación de recomendaciones y políticas. La revisión también permite ajustar la interpretación de los datos a medida que emergen nuevos patrones y perspectivas (Sánchez et al., 2022).

Definición y Nombramiento de Temas. Una vez que los temas han sido revisados y refinados, el siguiente paso es definir y nombrar cada tema de manera clara y precisa. La definición de temas implica describir su esencia y su relación con el fenómeno estudiado, mientras que el nombramiento proporciona una etiqueta que captura el núcleo del tema. Esta etapa es fundamental para estructurar el informe final y comunicar los hallazgos de manera efectiva.

En la ingeniería ambiental, la definición y nombramiento de temas deben reflejar las dimensiones clave de los problemas ambientales estudiados. Por ejemplo, un tema sobre “Percepciones de Riesgo Ambiental” podría abordar cómo las comunidades perciben los riesgos asociados con un proyecto industrial, mientras que un tema sobre “Actitudes hacia la Conservación” podría explorar las actitudes hacia las prácticas de conservación en áreas protegidas. Una definición y nomenclatura claras facilitan la comunicación de los hallazgos y ayudan a garantizar que los temas sean comprensibles y útiles para los responsables de la toma de decisiones y las partes interesadas (Sánchez et al., 2022).

Redacción del Informe. La redacción del informe es la etapa final del análisis temático, donde se presentan los temas identificados y se integran en una narrativa coherente y contextualizada. El informe debe incluir una descripción detallada de cada tema, respaldada por citas y ejemplos específicos de los datos. Además, el informe debe proporcionar una interpretación profunda de los hallazgos, explicando cómo los temas se relacionan con el fenómeno estudiado y qué implicaciones tienen para la ingeniería ambiental.

En el contexto de la ingeniería ambiental, un informe bien elaborado puede ofrecer insights valiosos que informan la toma de decisiones y el desarrollo de políticas. Por ejemplo, un informe sobre las percepciones comunitarias de un proyecto de infraestructura puede ayudar a diseñar estrategias de comunicación más efectivas y abordar las preocupaciones antes de la implementación del proyecto. La redacción del informe debe ser clara, accesible y orientada a la acción,

facilitando la comprensión de los hallazgos y promoviendo la aplicación de los insights en la práctica ambiental (Sánchez et al., 2022).

Aplicación del Análisis Temático en Ingeniería Química Ambiental. El análisis temático, como método de análisis cualitativo, ofrece una visión profunda y matizada de fenómenos ambientales al identificar y examinar patrones y temas significativos en datos no numéricos. Su aplicación en la ingeniería ambiental es crucial para entender las complejidades y dimensiones no siempre capturadas por los datos cuantitativos. A continuación, se exploran detalladamente varias aplicaciones del análisis temático en la ingeniería ambiental, destacando su valor en la evaluación de percepciones, la gestión de residuos, el cambio climático, entre otros aspectos (Martínez et al., 2021).

- **Evaluación de Percepciones Ambientales:** El análisis temático es particularmente útil en la evaluación de percepciones ambientales, un área en la que entender las actitudes y opiniones de las comunidades puede ser clave para el éxito de proyectos y políticas ambientales. Al aplicar el análisis temático a datos cualitativos obtenidos de entrevistas, grupos focales y encuestas abiertas, los ingenieros ambientales pueden identificar temas recurrentes sobre cómo las comunidades perciben diferentes aspectos de un proyecto o intervención.

Por ejemplo, al evaluar la aceptación pública de un proyecto de energía renovable, el análisis temático puede revelar preocupaciones sobre el impacto ambiental, las expectativas de beneficios comunitarios y las percepciones de justicia ambiental. Estos temas emergentes permiten a los planificadores y diseñadores de proyectos comprender mejor las preocupaciones y prioridades de la comunidad. Esta comprensión puede informar la comunicación del proyecto, el diseño de estrategias de participación y la modificación de aspectos del proyecto para abordar las inquietudes expresadas por los residentes.

Además, el análisis temático puede ayudar a identificar barreras a la aceptación, como la falta de información, desconfianza en las autoridades o preocupaciones sobre impactos negativos no considerados previamente. Al abordar estos temas de manera proactiva, los ingenieros ambientales pueden mejorar la viabilidad y sostenibilidad de sus proyectos, asegurando que sean socialmente aceptables y respeten las expectativas de las partes interesadas (Martínez et al., 2021).

- **Comprensión de Prácticas de Gestión de Residuos:** En el ámbito de la gestión de residuos, el análisis temático proporciona una herramienta valiosa para explorar las actitudes y prácticas de las comunidades en relación con el reciclaje y la gestión de residuos. A través de entrevistas y grupos focales, se pueden recoger datos cualitativos sobre cómo las

personas perciben los sistemas de gestión de residuos, qué barreras enfrentan y cómo las políticas actuales impactan sus comportamientos.

El análisis temático puede identificar temas como la falta de infraestructura adecuada para el reciclaje, las actitudes hacia las políticas de residuos y las percepciones sobre la efectividad de los programas de gestión existentes. Estos temas pueden revelar insights sobre por qué ciertos programas de reciclaje no están funcionando como se esperaba, permitiendo a los responsables de políticas diseñar intervenciones más efectivas y adaptadas a las necesidades y realidades locales.

Por ejemplo, si el análisis temático muestra que las comunidades tienen una actitud positiva hacia el reciclaje pero enfrentan barreras prácticas como la falta de contenedores adecuados o el acceso limitado a instalaciones de reciclaje, las políticas pueden ajustarse para mejorar la infraestructura y facilitar el reciclaje. Además, comprender las percepciones y actitudes de las comunidades ayuda a diseñar campañas de sensibilización más efectivas que aborden las preocupaciones y motiven la participación activa en programas de gestión de residuos (Martínez et al., 2021).

- **Desarrollo de Estrategias de Adaptación al Cambio Climático:** El cambio climático es un desafío global que requiere estrategias de adaptación efectivas basadas en una comprensión profunda de cómo las comunidades perciben y responden a sus impactos. El análisis temático es crucial para explorar las experiencias y percepciones de las personas sobre el cambio climático, permitiendo a los ingenieros ambientales y a los responsables de políticas desarrollar estrategias de adaptación que sean culturalmente apropiadas y basadas en las realidades locales.

El análisis temático puede identificar temas clave relacionados con la percepción del riesgo climático, las estrategias de adaptación adoptadas por las comunidades y las necesidades de apoyo para enfrentar los impactos del cambio climático. Estos temas pueden revelar cómo las comunidades entienden los riesgos asociados con eventos climáticos extremos, cómo están ajustando sus prácticas para adaptarse a estos cambios y qué tipo de asistencia necesitan para mejorar su resiliencia.

Por ejemplo, si los datos muestran que una comunidad costera está preocupada por el aumento del nivel del mar y está implementando medidas de adaptación como la construcción de defensas costeras, el análisis temático puede proporcionar información sobre la efectividad de estas medidas y las preocupaciones adicionales de los residentes. Esta información puede guiar la implementación de políticas de adaptación que no sólo aborden las necesidades prácticas, sino que también consideren las perspectivas y conocimientos locales (López et al., 2021).

- **Evaluación de Impactos Ambientales:** El análisis temático también juega un papel crucial en la evaluación de impactos ambientales, proporcionando una comprensión más profunda de los efectos sociales y culturales de proyectos de desarrollo. A través de entrevistas y grupos focales, se pueden identificar temas relacionados con las percepciones de los impactos ambientales y las preocupaciones de las comunidades afectadas.

En estudios de evaluación de impacto ambiental, el análisis temático puede revelar temas sobre cómo los proyectos afectan la calidad de vida, los recursos naturales y las prácticas culturales de las comunidades. Estos temas pueden incluir preocupaciones sobre la degradación ambiental, la pérdida de recursos naturales o el impacto en la salud y el bienestar de las personas.

Por ejemplo, en la evaluación de un proyecto minero, el análisis temático puede mostrar que las comunidades locales están preocupadas por la contaminación del agua y la pérdida de tierras agrícolas. Estos temas pueden informar las recomendaciones para mitigar los impactos negativos y desarrollar estrategias de compensación que aborden las preocupaciones de las comunidades y promuevan un desarrollo más sostenible (López et al., 2021).

- **Innovación y Mejora Continua:** Finalmente, el análisis temático contribuye a la innovación y mejora continua en la ingeniería ambiental al proporcionar una comprensión detallada de las experiencias y perspectivas de las partes interesadas. Este enfoque permite a los ingenieros ambientales identificar nuevas ideas y enfoques para abordar los desafíos ambientales, fomentando un ciclo de retroalimentación que impulsa la adaptación y la mejora de las prácticas y políticas.

El análisis temático puede revelar temas sobre cómo las comunidades están innovando para enfrentar problemas ambientales, como la adopción de prácticas sostenibles o el desarrollo de soluciones locales. Esta información puede inspirar nuevas estrategias y enfoques que integren las soluciones innovadoras de las comunidades con las políticas y prácticas ambientales más amplias.

Por ejemplo, si un análisis temático revela que las comunidades están implementando prácticas innovadoras de gestión del agua en respuesta a la escasez, estas prácticas pueden ser adoptadas y adaptadas a un nivel más amplio, promoviendo la difusión de soluciones efectivas y sostenibles. Al integrar las ideas y enfoques emergentes, el análisis temático fomenta una cultura de aprendizaje y adaptación que es esencial para enfrentar los desafíos ambientales del siglo XXI (López et al., 2021).

Interpretación de Datos Cualitativos

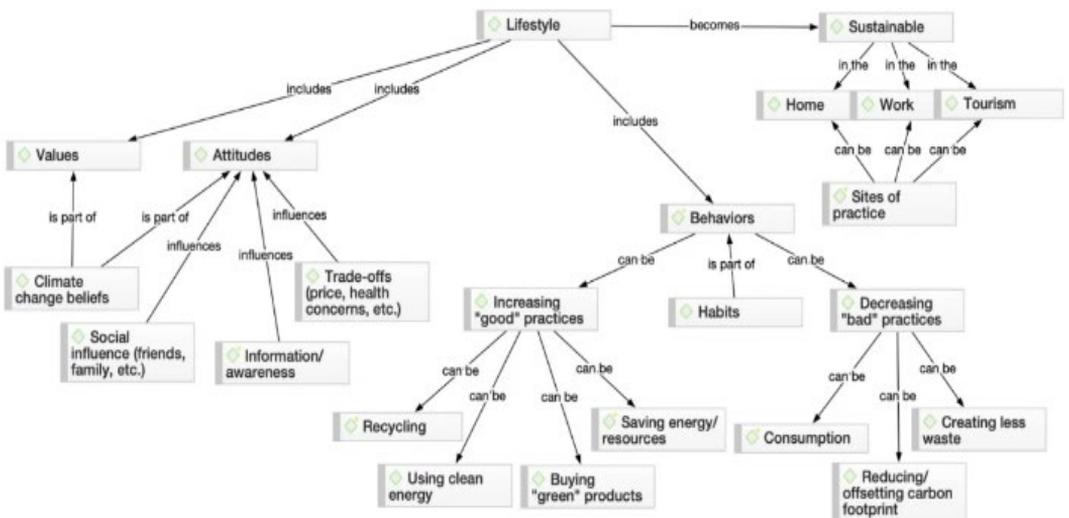
Según Gonzales (2007), el principal propósito de la interpretación de los datos cualitativos es reconocer los temas y patrones que nacen a partir de una base de datos con la finalidad de obtener conocimientos significativos.

En otros términos, podemos decir que implica una recaudación de datos no numéricos sino más bien en atributos que proviene de los datos, si por ejemplo queremos explicar en términos cualitativos una imagen que constan de múltiples colores que significan los diferentes grados de temperatura, nosotros nos basaremos la explicación en la diferencia de colores mas no en un valor numérico.

Por otro lado, se puede generar estudios en base a una metodología cualitativa, ya que una investigación cualitativa permite comprender el porqué de los resultados obtenidos, es así que muy a menudo se utiliza la investigación cualitativa para la evaluación de programas y políticas, esto se debe a que la aplicación de este enfoque es más eficiente y eficaz que un enfoque cuantitativo.

Importancia. Como principal ventaja este enfoque permite una gran variedad de respuestas debido a su capacidad de acomodarse a los problemas durante los procesos de investigación, aunque su análisis es exigente y demanda mucho tiempo, lo diferentes campos de la investigación han diseñado herramientas informáticas para el procesamiento de datos más rentables, sucintos y oportunos.

Figura 4. Análisis eficaz de datos



Fuente: elaboración propia

Para Moreno (2011), la interpretación de datos cualitativos es fundamental para la investigación y para la construcción de una comprensión sólida por diferentes razones:

1- Como primer punto, la selección de análisis de datos se selecciona arbitrariamente ya sea en función de características propias que quiere el investigador, es decir los datos permiten profundizar en el tema o área de interés. Sino generalizar la población que representa la muestra de participantes, por lo que se dice que la interpretación cualitativa busca una comprensión profunda del tema de investigación.

2.- Como segundo lugar el análisis cualitativo permite una mayor atención crítica, ya que el análisis cualitativo brinda la facilidad de adoptar una posición neutral ya que se considera la problemática en términos prácticos y filosóficos. Es por ello que los investigadores se desvinculan acerca de la reflexión sobre el proceso de investigación.

3.- Finalmente en tercer lugar el análisis de datos cualitativos se centra en el lenguaje de, los signos, las experiencias y el significado, asimismo los enfoques de los análisis suelen ser holísticos y contextuales. Por lo que un enfoque cualitativo permite explorar indagaciones desde direcciones a las que no se podrá acceder solo con el manejo de datos numéricos.

Métodos de análisis de datos cualitativos. Partiendo de una recopilación de datos, cuál sería la mejor forma de analizarlos, esto siempre va depender de la pregunta de investigación, es así que si yo empleo un método de investigación basado en la observación para distinguir un grupo, es decir partiendo desde un enfoque etnográfico esto es pertinente para explicar las diferentes culturas. Los pasos de codificación basados en los datos cualitativos implican la categorización y recategorización iterativas lo que pretende hacer un análisis profundo y presentar mejor los datos, partiendo de dos enfoques de interpretación de datos tenemos:

Análisis deductivo. Nace a partir de ideas pre existentes es decir necesita de un marco teórico que será la base para la codificación de datos, para la interpretación y para dar respuesta la pregunta de investigación, incluye la codificación de datos a partir de los conceptos o categorías predeterminadas, este método es esencial cual el investigador quiere ampliar una teoría ya existente

Análisis inductivo. Este método implica la generación de nueva teorías o datos a partir de los datos, esto empieza sin categorías ni códigos preconcebidos y a partir de ahí surgen patrones, temas y categorías. El investigador suele codificar datos para obtener cualquier patrón que parezca interesante o importante para su pregunta de investigación. El principal motivo de este método es que los datos se fundamentan por sí solos en lugar de ponerles ideas preexistentes.

Estos dos enfoques son opuestos y la investigación se sitúa en algún punto de este espectro, sin embargo, en la mayoría de los casos la interpretación de análisis cualitativos combina estos dos métodos para constituir el tema de investigación. Según Alonso (2023), los enfoques comunes para la interpretación de datos cualitativos:

Análisis de contenido. Se usa para identificar patrones y conceptos a partir de datos cualitativos lo cual implica codificar y categorizar de manera sistemática aspectos relevantes de los datos con la finalidad de descubrir patrones o tendencias, Un aparte importante es la cuantificación de frecuencia de patrones característicos de los datos

Se trata de una técnica que se basa en la adaptación de diferentes datos ya sea imágenes, textos contenidos audiovisuales, entre otros. Aunque su análisis es de naturaleza exploratoria, también es posible utilizar teorías existentes preestablecidas y seguir un enfoque deductivo para categorizar y cuantificar los datos cualitativos

Análisis temático. Sirve para analizar, identificar y comunicar patrones o temas dentro de los datos, esto va más de un tema superficial no es decir no solo se centra en el recuento de palabras o temas explícitos, sino que también en la identificación de conceptos y temas implícitos de cada uno de los datos.

Los investigadores suelen hacer una codificación detallada para establecer los datos o patrones que se van a repetir los diferentes tipos de códigos pueden clasificarse en temas y el investigador puede ver cómo se relacionan estos entre sí, por lo que análisis temático es flexible en cuanto la teoría de la investigación ya que permite un enfoque deductivo e inductivo, el resultado de un relativo único y complejo.

Teoría fundamentada. Es una metodología de la investigación que se usa para generar inductivamente una teoría en base a fundamentos a partir de datos, esto se da de manera simultánea con la recopilación de datos se va analizando hasta llegar a una o desarrollar una teoría exhaustiva.

Esta teoría se caracteriza por la recopilación y análisis de datos, lo cual se da simultáneamente, a partir del desarrollo de códigos teóricos, el muestreo arbitrario de los participantes y la comparación de datos con los conceptos. Teniendo como finalidad la creación de una explicación teórica que se adecue a datos y presente sobre a la pregunta de investigación.

Análisis de discurso. Se centra en el papel que toma el lenguaje en los contextos sociales lo cual implica examinar la comunicación y el uso del lenguaje más allá de lo que se dice, por lo considera unidades lingüísticas más amplias como las conversaciones o los textos. El análisis que parte del discurso suele ser la base para construir el significado y el entendimiento social en los diferentes

escenarios, haciendo relevancia en la conexión entre el lenguaje y el poder, esto puede aplicarse a cualquier tipo de texto como entrevistas, documentos, publicación, entre otros.

Importancia de la interpretación de datos cualitativos en la ingeniería ambiental. Es importante dentro de esta rama de la ciencia ya que permite captar la complejidad entre las interacciones del ser humano y el medio ambiente, muy a menudo se ve que los problemas ambientales no suelen entender por completos con datos estadístico o numéricos por lo que las percepciones, actitudes y los comportamientos son muy importantes para abordar esta problemática en cuestiones contaminación, conflictos, gestión de recursos, entre otros.

En el contexto social y cultural la interpretación de datos permite profundizar el contexto social y cultural que rodea los problemas ambientales, por ejemplo, las creencias y valores de una comunidad puede influir como estas responden ante un problema ambiental, por lo que comprender esto es esencial para diseñar intervenciones efectivas y sostenibles (Ortega, 2018).

Metodologías detalladas. Metodologías planteadas según Marin et al. (2016).

Diseño de la investigación. En el diseño de la investigación cualitativa este puede ser exploratorio, descriptivo e interpretativo detallando cada uno de los enfoques tenemos:

- a. **Exploratorio:** Se investiga un suceso o fenómeno poco conocido y partir de ello genera una hipótesis
- b. **Descriptivo:** Se basa describir las características del fenómeno
- c. **Interpretativo:** Se basa en entender el significado de las experiencias y percepciones de cada uno de los fenómenos.

Recolección de datos. La recolección de datos cualitativo se puede realizar mediante:

- a. **Entrevistas semiestructuradas:** Permite la profundización de temas específicos, permitiendo a los participantes compartir sus experiencias
- b. **Observación:** El investigador se involucra en el entorno de cada estudiante, permitiendo tener una comprensión más profunda de las dinámicas sociales y ambientales
- c. **Diarios de campo:** Se registran las observaciones y reflexiones durante el proceso de investigación.

Análisis de datos. Todo se basa en la codificación lo cual es un proceso complejo ya que permite identificar y etiquetar fragmentos de datos relevantes, tenemos:

- a. **Codificación abierta:** Identificación inicial de conceptos y categorías.
- b. **Codificación axial:** Relación de categorías y subcategorías para la construcción de una estructura más detallada y compleja.
- c. **Codificación selectiva:** Se focaliza en las estructuras más relevantes para la investigación y así poder desarrollar las teorías a partir de ellas.

Metodologías en la ingeniería ambiental. En la ingeniería ambiental sigue tres aspectos claves:

1. **Categorización:** Se basa en la clasificación de datos en grupos relevantes para facilitar el análisis.
2. **Estructuración:** Organiza los datos ya clasificados de tal manera que permita una comprensión más profunda.
3. **Contrastación:** Compara los hallazgos con teorías que ya existen o con estudios que ya se han realizado antes con la finalidad de validar y situarlos en un amplio contexto.

Beneficios del análisis de datos cualitativos en la ingeniería ambiental

1. **Identificación de impactos no cuantificables:** En el proceso de la identificación de impactos ambiental es el análisis cualitativo permite revelar impactos que no se demuestran con datos estadísticos como por ejemplo el efecto que hay en la calidad de vida o la identidad cultural de las comunidades lo que enriquece el EIA.
2. **Evaluación de la sostenibilidad social:** Los indicadores cualitativos permite la evaluación de dimensiones sociales de la sostenibilidad que hoy en día son difíciles de cuantificar como lo amenidad el empoderamiento comunitario, esto hace que complemente a los indicadores económicos y ambientales para tener una mejor visión de la sostenibilidad.
3. **Identificación de las necesidades y expectativas de los grupos de interés:** Las técnicas cualitativas como las entrevistas y los grupos focales permiten identificar las necesidades y preocupaciones y expectativas de las comunidades y de los grupos e interés en relación a los proyectos ambientales, esto es esencial para plantear estrategias de gestión ambiental con la finalidad de que sean aceptadas.

Datos cuantitativos

Introducción a los Datos Cuantitativos

El análisis cuantitativo en ingeniería ambiental juega un papel crucial en la comprensión, evaluación y gestión de problemas ambientales. Este enfoque se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para proporcionar una visión objetiva y precisa de los fenómenos ambientales. Los datos cuantitativos son esenciales para medir variables específicas, evaluar el impacto de actividades humanas sobre el medio ambiente y prever posibles escenarios futuros, lo que permite a los ingenieros ambientales tomar decisiones fundamentadas y diseñar estrategias efectivas para la protección y mejora del entorno natural.

En el ámbito de la ingeniería ambiental, el análisis cuantitativo se aplica en una variedad de contextos, desde el monitoreo de la calidad del aire y del agua hasta la modelación de la dispersión de contaminantes y la evaluación de impactos ambientales. Los datos cuantitativos proporcionan una base sólida para el desarrollo de modelos predictivos, la identificación de tendencias y la evaluación de la eficacia de las intervenciones ambientales. Esta metodología permite a los ingenieros ambientales realizar estudios precisos y objetivos que son fundamentales para la formulación de políticas y la implementación de soluciones sostenibles.

Una de las aplicaciones más comunes del análisis cuantitativo en la ingeniería ambiental es el monitoreo de la calidad del aire. Las estaciones de monitoreo de calidad del aire recopilan datos sobre la concentración de diversos contaminantes atmosféricos, como partículas en suspensión, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono. Estos datos se analizan utilizando técnicas estadísticas descriptivas, como la media, la mediana y la desviación estándar, para resumir las características básicas de las mediciones. Además, el análisis inferencial se utiliza para evaluar la significancia de las diferencias observadas en las concentraciones de contaminantes entre diferentes ubicaciones o períodos de tiempo. Por ejemplo, se pueden realizar pruebas de hipótesis para determinar si un aumento en la concentración de contaminantes durante un período específico es estadísticamente significativo en comparación con los niveles normales.

La calidad del agua es otra área en la que el análisis cuantitativo es fundamental. Los ingenieros ambientales utilizan datos numéricos para evaluar la presencia de contaminantes en cuerpos de agua, como ríos, lagos y acuíferos. Las muestras de agua se analizan para medir parámetros como el pH, la concentración de metales pesados, los nutrientes y la demanda biológica de oxígeno. Estos datos se analizan para verificar el cumplimiento de las normas de calidad del agua y para identificar fuentes de contaminación. El análisis de tendencias en los datos

de calidad del agua puede revelar cambios a lo largo del tiempo, lo que permite a los ingenieros evaluar la efectividad de las políticas y prácticas de gestión de recursos hídricos.

La modelación de la dispersión de contaminantes es otra aplicación importante del análisis cuantitativo en la ingeniería ambiental. Los modelos de dispersión utilizan datos cuantitativos sobre la emisión de contaminantes, las condiciones meteorológicas y la topografía para predecir la distribución de los contaminantes en la atmósfera. Estos modelos permiten a los ingenieros evaluar el impacto potencial de las emisiones de una fuente industrial y diseñar estrategias de control para minimizar la contaminación. La modelación cuantitativa también se utiliza en el análisis de riesgos, para evaluar la probabilidad de que eventos contaminantes alcancen niveles críticos y para planificar respuestas adecuadas.

El análisis cuantitativo también desempeña un papel importante en la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo. Los ingenieros ambientales utilizan datos numéricos para evaluar cómo un proyecto afectará diferentes aspectos del entorno, como la calidad del aire y del agua, la biodiversidad y los ecosistemas. Los estudios de impacto ambiental suelen incluir análisis estadísticos para cuantificar los posibles efectos del proyecto y para comparar estos efectos con los estándares y normativas ambientales. Esta información es crucial para tomar decisiones informadas sobre la aprobación y la implementación de proyectos, así como para diseñar medidas de mitigación y compensación.

Además, el análisis cuantitativo es esencial en la investigación sobre el cambio climático. Los científicos ambientales utilizan datos cuantitativos para estudiar las tendencias en las concentraciones de gases de efecto invernadero, las temperaturas globales y los patrones de precipitación. Los modelos climáticos cuantitativos se utilizan para predecir cómo estos factores cambiarán en el futuro y para evaluar el impacto de diferentes escenarios de mitigación. Los datos cuantitativos permiten a los investigadores identificar las causas del cambio climático, evaluar los riesgos asociados y desarrollar estrategias para mitigar sus efectos.

El análisis cuantitativo también desempeña un papel fundamental en la gestión de residuos. Los ingenieros ambientales recolectan y analizan datos sobre la generación, composición y tratamiento de residuos sólidos y líquidos. Mediante el uso de estadísticas y modelos matemáticos, pueden evaluar la eficiencia de los sistemas de gestión de residuos existentes y diseñar mejoras para reducir la producción de residuos, aumentar las tasas de reciclaje y optimizar los procesos de tratamiento. Los datos cuantitativos permiten a los ingenieros identificar patrones en la generación de residuos y proponer soluciones basadas en evidencias para minimizar el impacto ambiental.

En la conservación de la biodiversidad, el análisis cuantitativo es igualmente crucial. Los científicos recopilan datos sobre la población, distribución y salud de diversas especies, así como sobre la calidad y extensión de sus hábitats. Estos datos se utilizan para modelar las tendencias poblacionales y predecir los efectos de diversas amenazas, como la pérdida de hábitat, la contaminación y el cambio climático. Las herramientas cuantitativas permiten a los conservacionistas priorizar las acciones de conservación, evaluar la efectividad de las medidas implementadas y ajustar las estrategias según sea necesario para proteger la biodiversidad de manera más efectiva.

Además, el análisis cuantitativo se aplica en la gestión de recursos naturales. Los ingenieros ambientales utilizan datos numéricos para evaluar el estado y la disponibilidad de recursos como el agua, los minerales y los bosques. A través del uso de modelos y análisis estadísticos, pueden prever la demanda futura de estos recursos y desarrollar planes de gestión sostenible que equilibren las necesidades humanas con la protección del medio ambiente. Este enfoque es esencial para garantizar la utilización responsable de los recursos naturales y para prevenir su sobreexplotación y degradación.

El análisis cuantitativo también es vital en la evaluación de la eficiencia energética y la sostenibilidad de las tecnologías. Los ingenieros ambientales analizan datos sobre el consumo de energía, la eficiencia de los sistemas y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con diversas tecnologías y prácticas. Utilizando estos datos, pueden identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias para reducir el consumo de energía y las emisiones, promoviendo así el uso de tecnologías más limpias y sostenibles. Este enfoque es fundamental para avanzar hacia una economía baja en carbono y para enfrentar los desafíos del cambio climático.

Por otra parte, el análisis cuantitativo facilita la evaluación y gestión de riesgos ambientales. Los ingenieros ambientales recopilan y analizan datos sobre la frecuencia y severidad de eventos adversos, como desastres naturales, derrames de productos químicos y fallas en infraestructuras. Mediante el uso de modelos probabilísticos y análisis estadísticos, pueden evaluar los riesgos potenciales y desarrollar planes de respuesta y mitigación para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de las comunidades y los ecosistemas. Este enfoque cuantitativo es esencial para proteger la salud pública y el medio ambiente frente a diversas amenazas.

El análisis cuantitativo también contribuye a la eficiencia en la gestión de proyectos ambientales. Los ingenieros pueden utilizar datos numéricos para monitorear el progreso de los proyectos, evaluar el cumplimiento de los cronogramas y presupuestos, y asegurar que se alcancen los objetivos ambientales

establecidos. Esta evaluación continua permite realizar ajustes en tiempo real y garantizar el éxito de los proyectos ambientales, maximizando su impacto positivo y minimizando cualquier efecto adverso.

En el contexto de la economía circular, el análisis cuantitativo es indispensable para medir la eficacia de los ciclos de reutilización, reciclaje y reducción de materiales. Los ingenieros ambientales pueden utilizar datos para evaluar la eficiencia de los procesos industriales y de consumo, identificando áreas donde se puede reducir el desperdicio y aumentar la reutilización de recursos. Este enfoque ayuda a promover prácticas más sostenibles y a cerrar los ciclos de materiales, reduciendo la dependencia de recursos vírgenes y minimizando el impacto ambiental.

El análisis cuantitativo también se emplea en la evaluación de la sostenibilidad de productos y servicios a lo largo de su ciclo de vida. A través del análisis del ciclo de vida (LCA), los ingenieros ambientales pueden cuantificar los impactos ambientales asociados con todas las etapas de un producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Este enfoque permite identificar áreas de mejora y desarrollar productos y procesos más sostenibles, reduciendo la huella ecológica y promoviendo la responsabilidad ambiental en todas las fases de producción y consumo.

En el ámbito de la infraestructura verde, el análisis cuantitativo permite evaluar los beneficios y costos de soluciones basadas en la naturaleza, como techos verdes, jardines de lluvia y parques urbanos. Mediante la recopilación y análisis de datos sobre aspectos como la reducción del escurrimiento de aguas pluviales, la mejora de la calidad del aire y el aumento de la biodiversidad urbana, los ingenieros pueden demostrar el valor de estas soluciones y promover su adopción en proyectos de desarrollo urbano.

Finalmente, el análisis cuantitativo es fundamental en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías ambientales. Los datos numéricos permiten evaluar la viabilidad técnica y económica de innovaciones como sistemas de energía renovable, tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, y métodos avanzados de tratamiento de aguas residuales. A través de experimentos controlados y análisis estadísticos, los ingenieros pueden optimizar estas tecnologías y acelerar su implementación, contribuyendo a una transición más rápida y efectiva hacia un futuro sostenible.

Métodos de Análisis Cuantitativo

Estadística Descriptiva. Es la rama básica de la estadística que se encarga de obtener, acomodar, presentar y resumir información para poder sacar conclusiones claras y precisas (Ruiz, 2021). En ingeniería ambiental, se utiliza para examinar

datos relacionados con procesos industriales, calidad del agua, gestión de RRSS y otros aspectos del medio ambiente.

La capacidad de gestionar y analizar datos es esencial en la ingeniería química ambiental, donde las decisiones basadas en datos pueden afectar significativamente la sostenibilidad y eficiencia de los procesos industriales, monitoreos, etc. Las estadísticas descriptivas no sólo facilitan la comprensión de grandes cantidades de datos, sino que también pueden ayudar a identificar tendencias, patrones y anomalías que podrían haber pasado desapercibidas sin un análisis adecuado. Por ejemplo, en el monitoreo de la atmósfera (características fisicoquímicas), las medidas descriptivas pueden evaluar la variabilidad de los contaminantes y determinar si los niveles observados cumplen con las regulaciones ambientales. Además, mostrar datos gráficamente ayuda a comunicar los resultados a una variedad de audiencias, como ingenieros industriales, biólogos, personal administrativo y el público en general. La visualización eficaz puede resaltar áreas clave que necesitan intervención o mejora, lo que permite tomar decisiones más informadas. En la gestión de residuos, los gráficos de barras y los diagramas de dispersión pueden ilustrar claramente la distribución y el comportamiento de diferentes tipos de residuos, lo que ayuda a desarrollar estrategias de gestión más eficaces.

La estadística descriptiva es una poderosa herramienta para validar y optimizar procesos de ingeniería química ambiental. Al analizar los datos de rendimiento de los procesos industriales, los ingenieros pueden identificar oportunidades para reducir el uso de materias, disminuir RRSS y mejorar el consumo de energía. Esto no sólo ayuda a garantizar la sostenibilidad medioambiental, sino que también ahorra mucho dinero a la empresa (Ruiz, 2021).

En este contexto, la calidad de la data obtenida es fundamental. La recolección debe incluir procedimientos de calibración de instrumentos, validación de métodos de muestreo y la implementación de controles de calidad para asegurar la precisión y exactitud de los datos. Además, se deben considerar aspectos éticos y legales en la recolección de datos, especialmente cuando se involucra la interacción con comunidades y el impacto ambiental.

Conceptos Básicos de Estadística Descriptiva. Este tipo se centra en tres actividades principales: la obtención de datos, la presentación de datos y la examinación de datos. Estos procesos permiten a los ingenieros químicos ambientales comprender mejor la variabilidad de los datos y tomar decisiones basadas en información veraz (Vellada & Beltrán, 2020).

Recolección de Datos. La recolección de datos es el primer paso en el análisis estadístico. Se refiere a la obtención de información precisa y relevante que pueda ser analizada. En la ingeniería química ambiental, los datos pueden provenir de monitoreos ambientales, experimentos de laboratorio, encuestas, entre otros. Es crucial que los datos sean representativos y estén libres de sesgos para asegurar la validez de los resultados. Además, los métodos deben ser correctos para el tipo de trabajo que se está ejecutando. Por ejemplo, en un estudio de calidad del aire, los datos pueden ser recolectados mediante estaciones de monitoreo que registran las concentraciones de diferentes contaminantes en intervalos regulares. En experimentos de laboratorio, se debe garantizar la precisión y repetibilidad de las mediciones para obtener datos fiables (Álvarez & Barreda, 2020).

Presentación de Datos. Los datos recolectados se presentan de manera estructurada utilizando tablas, gráficos y diagramas. Esto facilita la interpretación y el análisis de los mismos. Los tipos de gráficos más usados incluyen histogramas, gráficos de barras, diagramas de dispersión y gráficos de caja. Cada tipo tiene su propio uso específico:

1. **Histogramas:** Se utilizan para representar la distribución de frecuencias de un conjunto de datos. Muestran cómo se distribuyen los valores en intervalos específicos, permitiendo visualizar la forma de la distribución, la presencia de valores atípicos y la dispersión de los datos. Permiten visualizar rápidamente la distribución y la frecuencia de los datos en intervalos específicos. Un histograma puede revelar si los datos siguen una distribución normal, si hay sesgos hacia un lado u otro, o si hay datos atípicos que se destacan. En el contexto de la ingeniería química ambiental, un histograma puede ser útil para mostrar la frecuencia de niveles de contaminación en diferentes puntos de una ciudad.
2. **Gráficos de Barras:** Ideales para comparar diferentes categorías de datos. Son útiles para visualizar la distribución de datos categóricos y cuantitativos discretos. Por ejemplo, se pueden utilizar para mostrar la cantidad de residuos generados por diferentes procesos industriales. Son especialmente útiles para comparar cantidades entre diferentes grupos. Por ejemplo, pueden mostrar la cantidad de emisiones de diferentes plantas industriales, lo que ayuda a identificar cuáles son las mayores fuentes de contaminación.
3. **Diagramas de Dispersión:** Utilizados para mostrar la relación entre dos variables cuantitativas. Ayudan a identificar patrones, tendencias y correlaciones entre las variables. Por ejemplo, un diagrama de

dispersión puede mostrar la relación entre la cantidad de residuos generados y la producción de una planta industrial. Si los puntos muestran una tendencia lineal ascendente, esto sugiere que a medida que la producción aumenta, también lo hacen los residuos, lo que podría indicar una necesidad de mejorar la eficiencia de los procesos.

4. **Gráficos de Caja:** También conocidos como boxplots, son útiles para mostrar la distribución de un conjunto de datos, resaltando la mediana, los cuartiles y los posibles valores atípicos. Son muy útiles en el análisis de datos ambientales para identificar la variabilidad y los extremos en los datos recolectados.

Proporcionan una manera de visualizar la distribución de los datos, incluyendo la mediana, los cuartiles y los valores atípicos. Son particularmente útiles para comparar la variabilidad entre diferentes grupos. Por ejemplo, pueden usarse para comparar la concentración de un contaminante en diferentes fuentes de agua, ayudando a identificar cuáles tienen mayores variaciones y posibles problemas de calidad.

Además de estos gráficos básicos, existen otros métodos de visualización de datos que pueden ser útiles en la ingeniería química ambiental, como los mapas de calor y los gráficos de series temporales. Los mapas de calor pueden mostrar la distribución espacial de contaminantes, mientras que los gráficos de series temporales permiten analizar cómo cambian los niveles de contaminantes a lo largo del tiempo.

Ejemplos de Aplicación en Ingeniería Química Ambiental

- **Monitoreo de la Calidad del Aire:** La utilización de histogramas es fundamental para visualizar la distribución de concentraciones de diferentes contaminantes en el aire a lo largo del tiempo. Estos gráficos permiten identificar patrones de contaminación, variaciones estacionales y la presencia de episodios de alta contaminación. Por ejemplo, un histograma que muestre la concentración de ozono durante un año puede revelar picos de contaminación en los meses de verano, lo que podría estar relacionado con condiciones meteorológicas favorables para la formación de ozono.

Además, al combinar los histogramas con otras medidas descriptivas, como la media y la desviación estándar, se pueden obtener insights más profundos sobre la calidad del aire. Por ejemplo, una alta desviación estándar indicaría una gran variabilidad en las concentraciones de ozono, lo que puede sugerir la influencia de fuentes intermitentes de contaminación o cambios en las condiciones climáticas.

- **Evaluación de la Calidad del Agua.** El empleo de gráficos de caja (boxplots) es esencial para comparar las concentraciones de diferentes parámetros químicos en el agua de diversas fuentes. Estos gráficos son particularmente útiles para detectar valores atípicos y variaciones estacionales. Por ejemplo, al analizar la concentración de nitratos en diferentes ríos, un gráfico de caja puede mostrar que ciertas fuentes tienen niveles consistentemente más altos, lo que podría indicar contaminación agrícola en áreas específicas.

Los gráficos de caja también permiten identificar cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo. Por ejemplo, si se observa una reducción en la mediana de la concentración de un contaminante después de la implementación de medidas de control, esto sugiere que las intervenciones han sido efectivas. Asimismo, la comparación de la variabilidad (amplitud intercuartílica) entre diferentes períodos puede ayudar a evaluar la estabilidad de la calidad del agua.

- **Análisis de Residuos Industriales**

El uso de diagramas de dispersión es crucial para investigar la relación entre el volumen de residuos generados y las variables operativas de los procesos industriales. Estos diagramas ayudan a identificar patrones y correlaciones, optimizando así la gestión de residuos. Por ejemplo, un diagrama de dispersión que muestre la relación entre la producción diaria de una planta y el volumen de residuos generados puede revelar una correlación positiva, indicando que aumentos en la producción resultan en mayores cantidades de residuos (Valverde, 2024).

Mediante el análisis de regresión en los diagramas de dispersión, se puede cuantificar la relación entre las variables y utilizar estos modelos para predecir la generación de residuos bajo diferentes condiciones operativas. Esto es fundamental para desarrollar estrategias de minimización de residuos y mejorar la eficiencia de los procesos industriales, reduciendo tanto el impacto ambiental como los costos asociados.

- **Optimización de Procesos**

La aplicación de medidas de tendencia central y dispersión es esencialmente utilizado para analizar datos de rendimiento de procesos industriales y así identificar oportunidades para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de recursos (energético, materia prima, etc.). Por ejemplo, calcular la media y la desviación estándar del consumo energético diario de una planta permite evaluar la eficiencia operativa y detectar períodos de alta variabilidad que puedan indicar ineficiencias o problemas en el proceso.

Además, el análisis de los datos puede revelar tendencias y patrones que no son evidentes a simple vista. Por ejemplo, un análisis temporal de la media del consumo energético puede mostrar una tendencia decreciente después de la implementación de mejoras en el proceso, mientras que la reducción en la desviación estándar indicaría una mayor estabilidad y control en el consumo.

Medidas de Tendencia Central. Las medidas de tendencia central son valores estadísticos que proporcionan una descripción resumida de un conjunto de datos al representar el centro o punto típico de la distribución. Estas medidas permiten comprender de manera general la ubicación de los datos y sirven como base para muchas otras técnicas estadísticas. Las principales medidas de tendencia central son la media, la mediana y la moda, cada una con características y aplicaciones específicas (Villada & Beltrán, 2020).

1. Media: La media aritmética, o simplemente media, es una de las medidas de tendencia central más utilizadas. Se calcula sumando todos los valores de un conjunto de datos y dividiendo el resultado entre el número total de valores. La fórmula general para la media es:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} es la media

x_i representa cada valor en el conjunto de datos

n es el número total de observaciones.

Ventajas:

Proporciona una representación simple y clara del centro de los datos.

Es útil para la comparación entre diferentes conjuntos de datos.

Desventajas:

Es sensible a valores extremos o atípicos (outliers), que pueden sesgar el resultado. Por ejemplo, en una muestra de ingresos donde la mayoría de los valores son bajos, pero hay algunos extremadamente altos, la media puede no representar adecuadamente el ingreso típico.

Aplicación en Ingeniería Química Ambiental:

En el análisis de datos de concentración de contaminantes, la media se utiliza para estimar la concentración promedio de un contaminante en un área específica, facilitando la comparación entre diferentes sitios o períodos (Valverde, 2024).

2. Mediana

La mediana es el valor que divide un conjunto de datos ordenados en dos partes iguales. A diferencia de la media, la mediana no se ve afectada por valores extremos y proporciona una mejor representación en distribuciones asimétricas.

Procedimiento para calcular la mediana:

1. Ordenar los datos de menor a mayor.
2. Si el número de observaciones es impar, la mediana es el valor central.
3. Si el número de observaciones es par, la mediana es el promedio de los dos valores centrales.

Ventajas:

Menos sensible a valores extremos que la media.

Proporciona una representación más fiel del centro en distribuciones asimétricas.

Desventajas:

Puede no ser tan intuitiva como la media para interpretaciones cuantitativas.

No utiliza toda la información en el conjunto de datos, solo el valor central.

Aplicación en Ingeniería Química Ambiental:

En estudios de calidad del agua, la mediana puede ser más representativa que la media en casos donde las concentraciones de contaminantes tienen una distribución sesgada debido a eventos de contaminación esporádica.

3. Moda

La moda es el valor que ocurre con mayor frecuencia en un conjunto de datos. En una distribución, puede haber una moda (unimodal), más de una moda (multimodal) o ninguna moda si todos los valores son únicos.

Ventajas:

Indica el valor más común en un conjunto de datos.

- Útil para datos categóricos y cualitativos.

Desventajas:

No siempre es útil para conjuntos de datos numéricos si no hay repetición de valores.

Puede no ser representativa si hay múltiples modas o si la moda no refleja la tendencia general del conjunto de datos.

Aplicación en Ingeniería Química Ambiental:

Al analizar la frecuencia de ciertos niveles de contaminación, la moda puede identificar el nivel de contaminante más común en un área, ayudando a focalizar las estrategias de mitigación en los niveles más prevalentes.

Medidas de Dispersión. Las medidas de dispersión indican qué tan dispersos o agrupados están los datos alrededor de una medida de tendencia central. Las medidas más comunes incluyen el rango, la varianza y la desviación estándar.

1. Rango: El rango es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de un conjunto de datos

$$R = x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}}$$

2. Varianza: La varianza es la media de las desviaciones cuadráticas respecto a la media aritmética. Proporciona una medida de la dispersión cuadrática de los datos.

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n-1}$$

3. Desviación Estándar: La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza y proporciona una medida de la dispersión en las mismas unidades que los datos originales.

$$S = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot f_i}{N} - (\bar{X})^2}$$

4. Estadística Inferencial. Es una rama fundamental de la estadística que permite la realización de generalizaciones y conclusiones sobre una población mediante la toma de una muestra. En el contexto de la ingeniería ambiental y química, su aplicación es crucial para la toma de decisiones informadas en la investigación y desarrollo de proyectos.

La estadística inferencial se fundamenta en el empleo de muestras para así poder realizar inferencias sobre poblaciones más amplias, lo cual se puede lograr mediante métodos como pruebas de hipótesis, la estimación de parámetros, y análisis de varianza. No obstante, para realizar inferencias precisas se debe considerar la calidad de la muestra seleccionada y de las técnicas estadísticas utilizadas.

Es así que, para la ingeniería ambiental, la estadística inferencial es empleada para evaluar la calidad del agua, la contaminación del aire y otros indicadores ambientales. Por ejemplo, es posible realizar estudios sobre la concentración de contaminantes en los distintos cuerpos de agua y a partir de esa información inferir la calidad del agua en toda una región. En el ámbito de la ingeniería química, permite analizar los resultados de experimentos y procesos industriales. Esto incluye determinar la eficiencia de reacciones químicas y la optimización de condiciones de operación. Por ejemplo, se pueden realizar pruebas de hipótesis para determinar si un nuevo catalizador mejora significativamente la tasa de reacción en comparación con un catalizador estándar (Ricardo & Rubio, 2019).

De manera similar Kaya et al. (2020), indica algunas aplicaciones para el campo de la ingeniería ambiental como es determinar la contaminación de las aguas subterráneas en una determinada zona a causa de los vertidos industriales. Por lo cual se seleccionan diversos puntos en los pozos de agua para un posterior análisis físico-químico. Empleando la estadística inferencial, es posible la realización de inferencias sobre los niveles de contaminación en toda la zona de estudio y determinar si se superan los niveles estipulados por las normas ambientales. Mientras que, en el caso del tratamiento de aguas residuales se podría utilizar la estadística inferencial para determinar si un proceso químico reduce efectivamente la concentración de contaminantes más que el proceso actual. Al realizar pruebas de hipótesis, se podría utilizar datos de varias corridas del proceso para evaluar si las diferencias observadas en los niveles de contaminantes son estadísticamente significativas o podrían haber ocurrido por azar.

Análisis ANOVA. El Análisis de Varianza permite la comparación entre las medias de 3 o más grupos a fin de determinar si alguno de estos es significativamente diferente de los demás. Esta herramienta es especialmente útil en campos como la ingeniería química y ambiental, donde se requiere evaluar el efecto de diferentes factores en variables de interés. De acuerdo a Dagnino (2014), este análisis permite determinar la variación de una variable respuesta, la cual será medida en determinadas circunstancias por factores o variables discretas. Así se presenta las siguientes situaciones donde se emplea:

1. El ANOVA puede aplicarse para comparar más de dos grupos. Aunque su principal uso es en estas comparaciones múltiples, también se puede emplear cuando solo se requiere comparar dos grupos, ya que el test t de Student es, en realidad, un caso particular del ANOVA de un solo factor.
2. El análisis también es útil cuando se realizan mediciones en repetidas ocasiones, ya sea más de dos veces o en múltiples grupos, permitiendo evaluar las diferencias a lo largo del tiempo o entre grupos bajo las mismas condiciones.

3. Si los participantes en un estudio presentan variaciones en una o más características que influyen en los resultados, el ANOVA permite ajustar y controlar estos efectos para obtener conclusiones más precisas.
4. Además, es posible utilizar el ANOVA para evaluar simultáneamente el impacto de dos tratamientos diferentes, analizando tanto los efectos individuales de cada tratamiento como su interacción combinada en los resultados.

Fundamento del ANOVA. El ANOVA se fundamenta en la partición de la variabilidad total observada en los datos en dos componentes: la variabilidad entre y dentro de los grupos, lo cual permite evaluar si las diferencias observadas en las medias son mayores de lo que se esperaría por azar.

Hipótesis del ANOVA.

1. Hipótesis nula (Se considera que las medidas de los grupos son iguales).
2. Hipótesis alternativa (: Existe por lo menos una media diferente).

El estadístico F se calcula como la razón de la variabilidad entre grupos a la variabilidad dentro de los grupos. Un valor alto de F sugiere que al menos uno de los grupos es diferente.

Procedimiento para un análisis de varianza. De acuerdo a Morell (2023), el procedimiento a seguir es:

1. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis nula (H_0): Las medias de todos los grupos son iguales.

Hipótesis alternativa (H_a): Al menos una media es diferente

2. Recopilación de la información. Reúne los datos de las observaciones para cada grupo. Por ejemplo, si se están comparando tres tratamientos, se deben recopilar los datos de cada tratamiento.

3. Cálculo de Sumas de Cuadrados. Las sumas de cuadrados ayudan a medir la variabilidad en los datos. Se calculan de la siguiente manera:

Suma de Cuadrados Total (SCT): Mide la variabilidad total en los datos.

$$SCT = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Donde:

X_i : es cada observación

N: es el número total de observaciones.

4. Suma de Cuadrados del Tratamiento (SCT): Mide la variabilidad entre los grupos.

$$SCT = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

donde n_j es el número de observaciones en el grupo j , \bar{X}_j es la media del grupo, y K es el número de grupos.

5. Cálculo de los grados de libertad

Grados de libertad para el tratamiento (dfT): $k - 1$

Grados de libertad para el error (dfE): $n - k$

Grados de libertad total (dfTotal): $n - 1$

6. Cálculo de las medias cuadráticas

Media Cuadrática del Tratamiento (MCT): $MCT = \frac{SCT}{dfT}$

Media Cuadrática del Error (MCE): $MCE = \frac{SCE}{dfE}$

7. Cálculo del estadístico F:

$$F = \frac{MCT}{MCE}$$

El estadístico F se calcula como la razón de las medias cuadráticas:

8. Comparación con el Valor Crítico

Contrasta el valor de F obtenido con el valor crítico de F, según la tabla F, considerando los grados de libertad y el nivel de significancia establecido (comúnmente 0.05). Si el valor calculado de F es mayor que el valor crítico, entonces se debe rechazar la hipótesis nula.

9. Análisis Post Hoc (si es necesario)

Si se rechaza la hipótesis nula, se pueden realizar pruebas post hoc (como el test de Tukey) para identificar qué grupos son significativamente diferentes entre sí.

Aplicaciones del ANOVA

- **Ingeniería Química.** En la ingeniería química, el ANOVA se puede utilizar para evaluar el efecto de diferentes condiciones de operación en un proceso. Por ejemplo, al comparar la eficiencia de varios catalizadores en una reacción, se pueden analizar los resultados de la producción de

productos químicos para determinar si hay diferencias significativas en la eficiencia de cada catalizador.

- **Ingeniería Ambiental.** En el ámbito ambiental, el ANOVA puede aplicarse para comparar la calidad del agua en diferentes cuerpos de agua. Por ejemplo, se pueden tomar muestras de varios ríos y analizar la concentración de contaminantes. Al aplicar ANOVA, se puede determinar si las concentraciones de contaminantes son significativamente diferentes entre los ríos, lo que puede indicar diferentes fuentes de contaminación o variaciones en la calidad del agua.

Estimación de parámetros. Mediante esta estimación es posible inferir características de una población a partir de una unidad muestral. De acuerdo a Quevedo (2011), se agrupan en los siguientes tipos:

1. **Estimación Puntual.** Se trata de ofrecer un valor único para estimar un parámetro de la población. Por ejemplo, cuando se calcula la media de una muestra, esta se emplea como estimador puntual de la media poblacional. Sin embargo, este enfoque no brinda detalles sobre la exactitud de la estimación ni sobre el error relacionado con ella.
2. **Estimación por Intervalos.** Esta estimación ofrece un intervalo de valores en el que, con un determinado nivel de confianza, se espera que esté el parámetro poblacional. En este enfoque se tiene en cuenta tanto la variabilidad como la incertidumbre propia de la estimación. Por ejemplo, un intervalo de confianza del 95% para la media de una población significa que, si se tomaran muchas muestras y se calcularon sus respectivos intervalos de confianza, alrededor del 95% de estos intervalos incluirían la media verdadera de la población.
3. **Fundamento.** La estimación de parámetros se basa en el concepto de estadísticos, que son funciones de los datos de la muestra. Los estadísticos más comunes incluyen:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Media Muestral: Se utiliza para estimar la media poblacional (μ).

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Varianza Muestral (:Se utiliza para estimar la varianza poblacional (θ^2)).

Prueba de hipótesis. Las pruebas de hipótesis son utilizadas para determinar si hay suficiente evidencia en una muestra para hacer una afirmación sobre la población. Un ejemplo en ingeniería ambiental podría ser probar si un nuevo tratamiento para aguas residuales reduce significativamente la cantidad de contaminantes en comparación con el tratamiento convencional. Se establecería una hipótesis nula (que no hay diferencia) y una hipótesis alternativa (que sí hay diferencia), y se utilizarían métodos estadísticos para evaluar los datos. De acuerdo a Dagnino (2015), el procedimiento para elaborarlo es el siguiente:

Formulación de hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): Afirmación que se desea probar o retener. Por ejemplo, $H_0: \mu = \mu_0$ (la media poblacional es igual a un valor específico).

Hipótesis alternativa (H_a): Afirmación que se acepta si hay suficiente evidencia en contra de H_0 .

Elección de la prueba estadística apropiada: Depende del tipo de datos, tamaño de muestra y parámetros poblacionales conocidos. Ejemplos: prueba z (para muestras grandes y varianza conocida), prueba t (para muestras pequeñas y varianza desconocida), prueba chi-cuadrado (para probar independencia o bondad de ajuste), ANOVA (para comparar medias de más de dos grupos).

Cálculo del estadístico de prueba:

Valor obtenido al aplicar la fórmula de la prueba estadística elegida a los datos muestrales.

Representa la evidencia muestral.

Determinación de la región crítica:

Determinación de la región crítica: Valores del estadístico de prueba que llevan al rechazo de

H_0 . Depende del nivel de significancia y la prueba estadística. Si el estadístico de prueba cae en la región crítica, se rechaza H_0 .

Cálculo del valor p: Probabilidad de obtener un valor del estadístico de prueba al menos tan extremo como el observado, suponiendo H_0 es verdadera.

Si valor $p < \alpha$ se rechaza H_0

Interpretación de Datos Cuantitativos

Después de haber realizado un análisis estadístico de los datos, es necesario su interpretación para poder dar sentido a los datos recolectados, identificando patrones, relaciones y tendencias que puedan aportar información nueva, alcanzando los objetivos de la investigación y contrastándola con hipótesis planteadas.

Uno de los aspectos fundamentales en esta interpretación es el contexto. Los datos cuantitativos, aunque objetivos en su esencia, pueden tener múltiples significados dependiendo del entorno en el que se analicen. Por ejemplo, un incremento de los contaminantes atmosféricos puede tener diversas causas de origen natural o antrópico que pueden provenir de la misma zona en estudio o de los alrededores. Por lo tanto, es esencial considerar los factores contextuales y situacionales que podrían influir en los resultados.

Otra dimensión importante es la comparación. Los datos cuantitativos suelen interpretarse mejor cuando se comparan con datos históricos, bases de datos o con registros de otros grupos similares. Estas comparaciones pueden ayudar a identificar desviaciones, tendencias emergentes o áreas de mejora. Por ejemplo, al analizar el desempeño de un nuevo método de remediación, compararlo con otros ya existentes puede proporcionar una visión más clara de su desempeño relativo y de sus fortalezas o debilidades.

La interpretación también debe tener en cuenta la calidad y la precisión de los datos. Los datos cuantitativos deben ser evaluados por su exactitud y confiabilidad. La presencia de errores en la recolección o en la medición puede distorsionar las conclusiones. Por ello, es crucial realizar una revisión crítica de las fuentes de datos y de los métodos de recolección antes de basar cualquier interpretación en ellos.

Además, es fundamental utilizar técnicas de visualización para facilitar la comprensión de los datos. Gráficos, diagramas y tablas bien diseñados pueden revelar patrones y relaciones que no son evidentes en una tabla de números crudos. La representación visual adecuada ayuda a comunicar los hallazgos de manera más efectiva a diferentes audiencias, permitiendo una interpretación más intuitiva.

En última instancia, la interpretación de datos cuantitativos no es un proceso aislado, sino que debe integrarse en un marco de análisis más amplio que considere factores cualitativos, perspectivas teóricas y objetivos específicos del estudio. Al combinar el análisis de datos cuantitativos con otras formas de evidencia y reflexión crítica, se puede lograr una comprensión más completa y precisa del fenómeno en cuestión.

Contexto y Relevancia de los Datos. Para realizar una interpretación adecuada de los datos depende de entender el contexto en el que se recolectaron. Esto incluye conocer el origen de los datos, los objetivos del estudio, y cómo se relacionan con las preguntas de investigación o los problemas a resolver. En base a estas necesidades identificadas se pueden tomar las decisiones de representación e interpretación de los datos. Este enfoque asegura que las conclusiones derivadas sean precisas y aplicables, y previene malentendidos que pueden surgir de una interpretación descontextualizada.

El contexto de los datos incluye conocer su origen, que puede ser primario, recolectado directamente para un estudio específico, o secundario, derivado de investigaciones previas. Comprender el entorno en el que se obtuvieron los datos, ya sea en un laboratorio, en un estudio de campo o mediante encuestas, proporciona una base sólida para interpretarlos correctamente. Además, es fundamental tener claro el propósito de la recolección de los datos. Si los datos se recopilaron para pruebas de hipótesis, monitoreo de procesos o estudios ambientales, la interpretación debe alinearse con estos objetivos iniciales. La metodología utilizada para la recolección también juega un papel esencial; diferentes técnicas pueden influir en la precisión y naturaleza de los datos, así como en su confiabilidad y rango de aplicación, afectando su interpretación.

La relevancia de los datos se refiere a su capacidad para abordar el problema o pregunta de investigación en cuestión. Los datos deben ser pertinentes y adecuados para el estudio específico que se está llevando a cabo. Además, el nivel de especificidad de los datos debe ser el adecuado; datos demasiado generales pueden no capturar detalles importantes, mientras que datos excesivamente específicos pueden resultar difíciles de manejar y de interpretar sin un análisis adecuado. La actualidad de los datos también es crucial, ya que la obsolescencia puede afectar su aplicabilidad, y el nivel de impacto de la investigación. En campos como la tecnología, donde los avances son rápidos, contar con datos actuales es fundamental para obtener conclusiones válidas.

Para interpretar los datos de manera efectiva, es necesario considerar las condiciones específicas bajo las cuales se recolectaron. Factores ambientales, temporales y socioeconómicos pueden influir en los resultados y deben ser tenidos en cuenta. La comparación de los datos actuales con datos históricos o de referencia también ayuda a situar los resultados en un contexto más amplio y a identificar tendencias o cambios significativos. Además, evaluar cómo los datos impactan el sector específico o el campo de estudio permite determinar su relevancia y utilidad práctica.

Finalmente, al comunicar los resultados, es vital proporcionar un contexto claro que explique la relevancia de los datos. Esto incluye describir su origen, los objetivos del estudio y su relación con el problema abordado. Justificar la selección de los datos y los métodos de recolección empleados, también es esencial para validar las conclusiones derivadas y asegurar que las interpretaciones sean precisas y bien fundamentadas.

Calidad y Fiabilidad de los Datos

Se aborda la importancia de evaluar la calidad y fiabilidad de los datos antes de interpretarlos, al considerar factores como la precisión, exactitud, y

consistencia de los datos, así como la presencia de errores o sesgos. La evaluación de la calidad de los datos ayuda a asegurar que las conclusiones derivadas sean válidas y útiles.

La calidad y fiabilidad de los datos son esenciales para garantizar una interpretación precisa y útil en cualquier análisis cuantitativo. Estos dos aspectos determinan en gran medida la validez de las conclusiones que se pueden extraer de los datos.

Con respecto a la calidad de los datos se refiere a su precisión y exactitud. La precisión asegura que los datos reflejen con exactitud las mediciones u observaciones realizadas, sin errores sistemáticos que puedan distorsionar los resultados, generando incertidumbre sobre las conclusiones obtenidas. La exactitud, por otro lado, se refiere a la capacidad de los datos para estar cerca del valor verdadero o real. Datos de alta calidad deben ser recolectados y registrados siguiendo procedimientos rigurosos y estandarizados para minimizar los errores y garantizar la integridad de la información. Por ejemplo, en un experimento científico, utilizar instrumentos calibrados adecuadamente y seguir métodos de medición consistentes son prácticas clave para asegurar que los datos sean precisos y exactos.

En cuanto a la fiabilidad de los datos, esto se relaciona con su consistencia y estabilidad a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones. Un conjunto de datos es fiable si los resultados son consistentes cuando se repite el experimento o se recopila la información bajo condiciones similares. La fiabilidad se evalúa mediante la repetición de mediciones y la verificación de que los resultados sean similares, lo que indica que los datos no están sujetos a fluctuaciones aleatorias significativas o se produzcan errores durante la toma de datos. Además, la fiabilidad también implica la estabilidad de los datos cuando se usan diferentes métodos de recolección o análisis, siempre que estos métodos sean adecuados para el contexto y el propósito con el cual se extraen los datos.

La validez de los datos, aunque estrechamente relacionada con la calidad y fiabilidad, se centra en si los datos realmente miden lo que se pretende medir. Los datos deben ser pertinentes para el problema o la pregunta de investigación y capturar las variables o fenómenos de interés de manera efectiva. La validez asegura que los datos no solo sean precisos y fiables, sino también adecuados para el propósito del estudio. Al momento de tomar los datos para su interpretación se debe asegurar que las conclusiones obtenidas puedan responder con los objetivos planteados, así como evitar abrumar con información innecesaria.

Interrelación de Variables

Una de las cuestiones para las que más se utilizan los análisis cuantitativos es discutir la presencia de relaciones entre diferentes variables en estudio o de interés para el investigador. La identificación de correlaciones, dependencias y causalidades entre variables es esencial para formar conclusiones y tomar decisiones basadas en los datos. La interrelación de variables es un aspecto esencial en la interpretación de datos cuantitativos, ya que permite comprender cómo distintas variables se afectan mutuamente dentro de un conjunto de datos. Analizar estas relaciones proporciona una visión más profunda del fenómeno estudiado y ayuda a formular conclusiones más precisas y útiles.

Para comprender las relaciones entre variables se debe identificar cómo una variable influye o está relacionada con otras. En el análisis cuantitativo, es fundamental distinguir entre diferentes tipos de relaciones. Una relación causal ocurre cuando un cambio en una variable directamente provoca un cambio en otra. Por ejemplo, en un estudio sobre el impacto de la temperatura en la velocidad de reacción química, la temperatura podría ser una variable causal que afecta la velocidad de la reacción. Por otro lado, una relación correlacional indica que dos variables están asociadas entre sí, pero no necesariamente que una cause la otra. Por ejemplo, la correlación entre el nivel de estrés hídrico y la pérdida de cobertura vegetal puede reflejar una relación correlacional, donde ambas variables están influenciadas por una tercera variable, como la temporada de verano.

La identificación de la dirección y la fuerza de las relaciones es crucial para interpretar los datos cuantitativos en los que se relacionan variables. La dirección de una relación puede ser positiva, donde un aumento en una variable se asocia con un aumento en otra, o negativa, donde un aumento en una variable se asocia con una disminución en la otra. La fuerza de la relación, que puede ser fuerte o débil, se mide a través de coeficientes de correlación u otros indicadores estadísticos apropiados dependiendo del alcance de la investigación y los resultados obtenidos. Comprender la dirección y la fuerza de las relaciones entre variables ayuda a identificar patrones significativos y a hacer predicciones sobre cómo cambios en una variable pueden afectar a otras. Al momento de formar conclusiones es importante recordar las posibles variaciones que pueden surgir si se utilizaran datos que no formaron parte del alcance inicial de la investigación, por ejemplo, se pueden encontrar relaciones que se mantienen positivas o negativas durante cierto rango, pero exhiben otro comportamiento para rangos o categorías distintas.

Las interacciones entre variables también deben ser consideradas. Las variables pueden interactuar de maneras complejas, donde el efecto de una variable en otra depende del nivel de una tercera variable. Estas interacciones pueden revelar información adicional que no se obtendría al examinar variables

de manera aislada. Por ejemplo, el impacto de un fertilizante en el crecimiento de las plantas puede variar según el tipo de suelo, lo que indica una interacción entre el tipo de fertilizante y el tipo de suelo, e incluso pueden existir más variaciones dependiendo del tipo de planta o el método de aplicación del fertilizante.

El análisis de la interrelación de variables permite desarrollar modelos que representan las relaciones entre diferentes factores dentro del sistema estudiado. Estos modelos pueden ser utilizados para hacer predicciones y para entender mejor cómo diferentes variables interactúan en situaciones prácticas. Por ejemplo, en un modelo matemático, la interacción entre la temperatura de un caldero, la presión interna y la presencia de gases puede ser analizada para prever cómo cambios en uno de estos factores podrían afectar a los demás.

El contexto de las relaciones entre variables es igualmente importante. Los datos deben ser interpretados en el marco del contexto en el que fueron recolectados. Las relaciones observadas pueden variar según el entorno, el período de tiempo o las condiciones específicas del estudio. Por lo tanto, es importante considerar estos factores al interpretar cómo y por qué ciertas variables están relacionadas.

Impacto de los Supuestos. Examina cómo los supuestos que subyacen en la recolección y el análisis de datos pueden influir en la interpretación. Los supuestos incorrectos pueden llevar a conclusiones erróneas, por lo que es importante ser consciente de ellos y evaluarlos críticamente. En la interpretación de datos cuantitativos, los supuestos subyacentes juegan un papel crucial en la validez y precisión de las conclusiones. Estos supuestos son las premisas o condiciones que se asumen durante el proceso de análisis y pueden influir significativamente en los resultados obtenidos y en las decisiones derivadas de ellos.

El impacto de los supuestos comienza con la necesidad de clarificar las premisas sobre las que se basa el análisis. Por ejemplo, en muchos modelos estadísticos, se asume que los datos siguen una distribución normal. Si este supuesto no se cumple, los resultados pueden no ser confiables, lo que afecta la precisión de las inferencias realizadas. La identificación y validación de estos supuestos son esenciales para garantizar que el análisis se base en una base sólida.

Los supuestos incorrectos pueden llevar a interpretaciones erróneas o a conclusiones inválidas. Por ejemplo, si un modelo de regresión asume que todas las variables independientes son independientes entre sí, pero en realidad hay colinealidad (correlación entre variables independientes), el modelo puede producir estimaciones sesgadas. En tales casos, los resultados podrían no reflejar la verdadera relación entre las variables y podrían llevar a recomendaciones inapropiadas o decisiones mal fundamentadas.

Para evaluar los supuestos se debe verificar su validez antes de proceder con la interpretación de los datos. Esto se realiza mediante pruebas diagnósticas,

análisis de residuos y otras técnicas que permiten evaluar si las premisas subyacentes se cumplen en el contexto del estudio. Si se detectan violaciones de los supuestos, es necesario ajustar el análisis, posiblemente utilizando métodos alternativos que sean menos sensibles a las violaciones de los supuestos originales.

El ajuste a supuestos alternativos también es un aspecto crucial en la interpretación de datos. En muchos casos, los datos no cumplen con todos los supuestos ideales, y el investigador debe optar por técnicas robustas o adaptaciones que permitan manejar estas violaciones. Por ejemplo, si los datos no son normalmente distribuidos, se pueden utilizar métodos no paramétricos que no requieren el supuesto de normalidad. Estas adaptaciones ayudan a asegurar que las conclusiones sean válidas a pesar de las limitaciones de los datos y a tener que cambiar el tipo de análisis realizado por uno más apropiado.

En virtud de otorgar mayor validez al trabajo realizado es vital mantener la transparencia sobre los supuestos para la integridad del análisis. Al comunicar los resultados, es importante describir claramente los supuestos realizados durante el análisis y cómo estos pueden haber influido en los resultados. Esta transparencia permite a otros evaluar la solidez del análisis y comprender las limitaciones y potenciales sesgos que podrían afectar la interpretación de los datos.

Identificación de Tendencias y Patrones. Describe la importancia de identificar y comprender tendencias y patrones dentro de los datos. Aunque el análisis de tendencias puede involucrar métodos estadísticos, la interpretación de estos patrones es crucial para hacer predicciones y tomar decisiones basadas en el comportamiento observado. En la interpretación de datos cuantitativos, la identificación de tendencias y patrones es fundamental para comprender el comportamiento subyacente de los datos y para tomar decisiones informadas. Las tendencias y patrones revelan cómo evolucionan los datos a lo largo del tiempo y cómo se relacionan entre sí, proporcionando una visión más profunda que va más allá de los simples valores numéricos.

Las tendencias en los datos son direcciones generales o movimientos observados a lo largo del tiempo. Identificar una tendencia implica observar cómo cambian los datos en un período prolongado, lo que puede ayudar a prever futuros comportamientos. Por ejemplo, en un estudio de impacto ambiental, observar una tendencia creciente en las concentraciones de metales pesados en fuentes de agua durante varios años puede indicar un crecimiento sostenido de las fuentes contaminantes, por lo que se necesitan tomar medidas para la protección del recurso. Reconocer estas tendencias permite a los analistas hacer proyecciones basadas en comportamientos históricos, lo cual es crucial para la planificación y la toma de decisiones estratégicas.

Los patrones en los datos son regularidades o estructuras que se repiten dentro de un conjunto de datos. Identificar patrones implica buscar repeticiones,

ciclos o agrupaciones que pueden ofrecer información sobre el comportamiento subyacente. Por ejemplo, en un estudio de consumo energético, un patrón estacional puede revelar que el consumo aumenta durante los meses de invierno y disminuye en verano. Reconocer estos patrones ayuda a entender mejor los factores que influyen en los datos y a diseñar estrategias adaptadas a estos comportamientos recurrentes.

La detección de tendencias y patrones a menudo requiere el uso de técnicas de análisis específicas, como el análisis de series temporales, que examina cómo los datos cambian a lo largo del tiempo, o el análisis de grupos de datos similares para identificar estructuras subyacentes. Estas técnicas permiten a los analistas extraer información significativa de conjuntos de datos grandes y complejos, facilitando la identificación de tendencias y patrones que no son evidentes a simple vista.

La interpretación de tendencias y patrones debe considerar el contexto en el que se presentan los datos. Factores externos, como cambios en el mercado, condiciones económicas o eventos extraordinarios, pueden influir en las tendencias y patrones observados. Por lo tanto, es importante contextualizar los hallazgos dentro de las circunstancias específicas para evitar malinterpretaciones y para comprender la causa subyacente de las observaciones.

El valor de identificar tendencias y patrones radica en su capacidad para proporcionar una base sólida para la toma de decisiones. Al comprender cómo se comportan los datos y cómo pueden cambiar en el futuro, los tomadores de decisiones pueden desarrollar estrategias más efectivas, anticipar problemas potenciales y aprovechar oportunidades.

Capítulo VIII

Reporte De Resultados

Introducción al Reporte de Resultados

El reporte de resultados implica la documentación y comunicación adecuada de los resultados de una investigación, ya que es esencial para garantizar la transparencia y la reproducibilidad de cualquier estudio llevado a cabo. En el campo de la ingeniería química ambiental, donde las metodologías pueden ser complejas y los impactos de las decisiones técnicas son significativos, un reporte claro y conciso asegura que los hallazgos puedan ser entendidos, evaluados y utilizados por otros investigadores y profesionales en el campo. Esta sección tiene como objetivo explicar la importancia de documentar y comunicar adecuadamente los resultados obtenidos durante la investigación, destacando cómo estos resultados pueden contribuir a la mejora de las metodologías de investigación en ingeniería química ambiental.

Presentación de Resultados Cuantitativos y Cualitativos

Los resultados de una investigación se pueden clasificar en cuantitativos, que se refieren a datos numéricos y medibles, y cualitativos, que incluyen observaciones, descripciones y análisis no numéricos. Ambos tipos de resultados son cruciales en la ingeniería química ambiental, ya que proporcionan una visión completa del fenómeno estudiado. Mientras que los datos cuantitativos permiten realizar comparaciones y evaluar la magnitud de los efectos observados, los cualitativos ayudan a contextualizar y comprender los mecanismos subyacentes.

Resultados Cuantitativos

Estos resultados al ser con cifras y cantidades contables presentan un manejo de información distinta a la de los no contables, para ello se agrupa la información resultante de la siguiente manera:

Presentación de datos numéricos:

Tablas y gráficos: Se recomienda usar tablas para organizar datos numéricos y gráficos (barras, líneas, pastel) para visualizar tendencias o comparaciones.

Estadísticas descriptivas: Para presentar los datos de estadística se debe incluir medias, medianas, desviaciones estándar, etc., según sea relevante.

Análisis de datos:

El análisis de datos cuantitativos es un proceso sistemático que implica la recolección, organización, interpretación y presentación de datos numéricos. En el contexto de la ingeniería química ambiental, este tipo de análisis es fundamental para evaluar el desempeño de procesos, validar modelos teóricos, y tomar decisiones informadas basadas en evidencia numérica.

Para ello es recomendable, llevar correctamente las siguientes etapas:

Recolección de Datos

Fuentes de datos e instrumentación: Los datos pueden provenir de experimentos, mediciones in situ, sensores, o simulaciones computacionales. Es fundamental asegurar que las fuentes de datos sean confiables y que el proceso de recolección minimice errores. Utilizar equipos calibrados y técnicas estandarizadas para asegurar la precisión y la validez de los datos recolectados.

Preparación de los datos

Detección de Errores: Identificar y corregir errores en los datos, como valores atípicos o inconsistencias.

Transformación y manejo de datos: Puede ser necesario transformar los datos (por ejemplo, mediante normalización o estandarización) para prepararlos para el análisis. Decidir cómo manejar los datos faltantes, ya sea mediante la imputación de valores, eliminación de registros incompletos, o el uso de técnicas avanzadas como modelos estadísticos.

Análisis Estadístico Descriptivo

Medidas de Tendencia Central: Calcular medias, medianas y modos para entender la distribución central de los datos.

Medidas de Dispersión: Analizar la variabilidad en los datos utilizando la desviación estándar, el rango intercuartílico, y otros indicadores.

Distribución de Datos: Evaluar la forma de la distribución (asimetría, curtosis) y su normalidad o desvío de una distribución normal.

Análisis Inferencial

Pruebas de Hipótesis: Realizar pruebas como t-test, ANOVA, o chi-cuadrado para evaluar si las diferencias observadas en los datos son estadísticamente significativas.

Intervalos de Confianza: Calcular intervalos de confianza para estimar con qué precisión una muestra representa a la población.

Modelado Estadístico: Aplicar modelos lineales y no lineales para predecir y explicar relaciones entre variables.

Regresión y Análisis de Correlación

Regresión Lineal: Usar la regresión lineal para modelar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes.

Regresión No Lineal: Aplicar modelos más complejos si las relaciones no son lineales.

Correlación: Evaluar la fuerza y dirección de la relación entre dos variables mediante coeficientes de correlación (como Pearson o Spearman).

Análisis Multivariante

Análisis de Componentes Principales (PCA): Reducir la dimensionalidad de los datos para identificar las variables más influyentes.

Análisis de Clústeres: Agrupar datos similares en categorías para simplificar la interpretación y la toma de decisiones.

Análisis Discriminante: Clasificar datos en categorías predeterminadas basándose en varias variables.

Interpretación de Resultados

Contextualización: Interpretar los resultados en el contexto del problema de investigación o del proceso industrial. Considerar las implicaciones prácticas y teóricas de los hallazgos.

Comparación con Estándares o Estudios Previos: Comparar los resultados con estándares industriales, regulaciones ambientales, o resultados de estudios anteriores para validar la robustez de los hallazgos.

Presentación de Resultados

Visualización de Datos: Utilizar gráficos, tablas y diagramas para presentar los resultados de manera clara y concisa. Es importante elegir la visualización adecuada para cada tipo de análisis (por ejemplo, histogramas para distribuciones, gráficos de dispersión para correlaciones).

Informe Final: Redactar un informe que incluya la metodología, los resultados, la discusión y las conclusiones. Debe ser claro y accesible para el público objetivo, que puede incluir ingenieros, científicos, reguladores, o tomadores de decisiones.

Validación y Verificación

Revisión Cruzada: Revisar los análisis con otros expertos para asegurar la exactitud y la consistencia de los resultados.

Verificación de Modelos: Probar los modelos desarrollados con datos nuevos o de validación para confirmar su aplicabilidad.

Interpretación de los resultados numéricos y comparación con estudios previos: Explicar lo que indican los datos en relación con las hipótesis o preguntas de investigación. Si aplica, comparar los resultados obtenidos con investigaciones similares en el campo.

Resultados Cualitativos

En el caso de los resultados cualitativos, son datos que no presentan cifras numéricas, por lo tanto la agrupación de sus resultados debe ser evidenciada a través de:

Presentación de hallazgos no numéricos:

Temas emergentes: Identificación y descripción de temas o patrones clave observados en los datos cualitativos.

Citas o ejemplos textuales: Proporcionar extractos relevantes que ilustran los hallazgos.

Análisis e interpretación:

Relación con la teoría o marco conceptual: Vincular los resultados cualitativos con teorías existentes o marcos conceptuales en la ingeniería química ambiental.

Implicaciones de los resultados: Explicar cómo los hallazgos cualitativos complementan o enriquecen la interpretación de los datos cuantitativos.

Estandarización en la Presentación de Resultados

La estandarización en la presentación de resultados se refiere a la adopción de formatos, unidades, símbolos, y metodologías consistentes para comunicar los datos, análisis y conclusiones. Esto es crucial para asegurar que la información sea clara, precisa y comprensible. En favor de que los resultados de una investigación sean de utilidad y aplicables, es necesario presentarlos de manera estandarizada. Esto incluye el uso de formatos consistentes para tablas, gráficos y textos descriptivos, así como la aplicación de normas y guías establecidas en el campo. Una presentación estandarizada facilita la comparación de resultados entre estudios y permite que los investigadores puedan replicar los experimentos o construir sobre los hallazgos reportados.

Impacto en la Mejora de Metodologías

Un reporte bien documentado no solo comunica los resultados obtenidos, sino que también puede sugerir mejoras en las metodologías empleadas. En la ingeniería química ambiental, donde las técnicas y procesos están en constante evolución, los informes que destacan las limitaciones de los métodos utilizados o proponen ajustes pueden ser invaluable para la comunidad científica. Esto contribuye al avance del conocimiento y a la optimización de procedimientos en futuras investigaciones.

Relevancia para la Toma de Decisiones

Los reportes de resultados juegan un papel clave en la toma de decisiones dentro de la ingeniería química ambiental. Los datos precisos y las interpretaciones claras permiten a los tomadores de decisiones, como ingenieros, científicos y reguladores, evaluar los riesgos y beneficios de determinadas acciones. Además, un buen reporte puede influir en el desarrollo de políticas públicas o en la implementación de tecnologías sostenibles.

Transparencia y Responsabilidad Científica

La transparencia en la comunicación de los resultados es un principio fundamental de la investigación científica. Un reporte exhaustivo y detallado asegura que los resultados puedan ser verificados por otros, lo que fortalece la confianza en la investigación. En áreas como la ingeniería química ambiental, donde los errores pueden tener consecuencias graves, la responsabilidad científica en la presentación de los resultados es esencial.

Facilitación de la Colaboración Interdisciplinaria

En la ingeniería química ambiental, la colaboración interdisciplinaria es frecuente, involucrando a químicos, ingenieros, ecólogos, y otros especialistas. Un reporte de resultados bien estructurado facilita la comprensión y el uso de la información por parte de profesionales de diversas disciplinas, promoviendo una colaboración más efectiva y la integración de conocimientos de diferentes áreas del saber.

Contribución a la Educación y Capacitación

Los reportes de resultados no solo son valiosos para la investigación, sino también para la educación y capacitación de nuevos profesionales. Estudiantes y aprendices pueden beneficiarse enormemente de estudiar reportes bien elaborados, que les permiten comprender mejor las metodologías y los resultados obtenidos, así como los desafíos y soluciones planteados durante la investigación.

Difusión del Conocimiento

Un reporte de resultados también juega un papel crucial en la difusión del conocimiento más allá del ámbito académico. Publicar los resultados de investigaciones en revistas científicas, conferencias, o plataformas abiertas, permite que un público más amplio, incluidas las industrias y el sector público, se beneficie de los hallazgos. Esto puede acelerar la aplicación práctica de nuevas tecnologías o enfoques en el campo de la ingeniería química ambiental.

Pilar de la Investigación Científica

Finalmente, el reporte de resultados es un pilar fundamental en la investigación científica, especialmente en campos como la ingeniería química ambiental. No solo asegura que los hallazgos de una investigación sean accesibles y útiles, sino que también impulsa la mejora continua de las metodologías, fomenta la colaboración interdisciplinaria y contribuye al avance del conocimiento científico y su aplicación práctica. Documentar y comunicar adecuadamente los resultados es, por tanto, una responsabilidad ineludible para cualquier investigador comprometido con la excelencia científica.

Figura 5. Esquematación de la presentación de resultados



Fuente: elaboración propia.

Presentación de Resultados

Cualitativos:

El término “investigación cualitativa” hace referencia a cualquier proceso investigativo que genera hallazgos sin recurrir a técnicas estadísticas ni a métodos cuantitativos. Este tipo de exploración puede centrarse en áreas como las vivencias humanas, las emociones, las conductas, las dinámicas en las

organizaciones, los movimientos sociales, los fenómenos culturales e incluso las relaciones internacionales. Si bien algunos datos pueden ser convertidos en cifras, como sucede con los censos o la información de contexto de los sujetos o elementos estudiados, el análisis principal es de carácter interpretativo (Flores & Medrano, 2019). Sin embargo, el concepto de “investigación cualitativa” puede ser interpretado de diferentes maneras, ya que su definición cambia dependiendo del enfoque del investigador. Algunos obtienen datos a través de observaciones y entrevistas, métodos característicos de la investigación cualitativa, pero luego transforman esos datos en valores numéricos para aplicar análisis estadísticos. Este proceso implica convertir datos cualitativos en cuantitativos. Pero, cuando nos referimos a un análisis cualitativo, estamos hablando de una interpretación no matemática de los datos, cuyo fin es identificar patrones y relaciones dentro de la información obtenida, para luego estructurarla en un marco teórico coherente. Las fuentes de estos datos pueden ser entrevistas, observaciones, documentos, grabaciones de video, o incluso datos que previamente han sido cuantificados con otros fines, como los censos (Herrera et al., 2015).

Componentes de resultados de una investigación cualitativa

La exploración cualitativa se estructura principalmente sobre tres pilares esenciales. El primero de ellos son los datos, los cuales pueden derivar de múltiples orígenes, tales como entrevistas, observaciones, documentos, archivos o incluso materiales audiovisuales. El segundo pilar son los métodos que emplean los investigadores para analizar y estructurar dicha información. Estos incluyen la conceptualización y reducción de los datos, la creación de categorías según sus propiedades y dimensiones, y su vinculación a través de declaraciones proposicionales. Este proceso de conceptualización, reducción, creación de categorías y vinculación es comúnmente conocido como codificación. También forman parte del análisis otros procedimientos, como el muestreo no estadístico, la redacción de memorandos y la elaboración de diagramas. El tercer componente se refiere a los informes, tanto escritos como orales, que pueden tomar la forma de artículos científicos, presentaciones en conferencias o libros. La investigación cualitativa puede llevarse a cabo utilizando una variedad de enfoques y métodos distintos. Hay diversas razones justificadas para optar por la investigación cualitativa. Una de ellas radica en las preferencias o la trayectoria de los investigadores. Algunas personas, debido a su carácter, se sienten más inclinadas hacia este enfoque. Además, hay quienes provienen de campos académicos como la antropología o cuentan con orientaciones filosóficas, como la fenomenología, que tradicionalmente emplean métodos cualitativos (Strauss & Corbin, 2012).

Áreas principales de los resultados

La pregunta inicial de un proyecto y su formulación orientan a analizar los datos de forma única, además de determinar las técnicas de recolección y los enfoques de análisis que se utilizarán. La pregunta marca la pauta del estudio, ayudando al investigador a mantenerse enfocado incluso cuando se enfrenta a una gran cantidad de información. En las investigaciones cualitativas, la pregunta original suele ser amplia y flexible, pero se va afinando y volviendo más específica conforme avanza el proceso de investigación y surgen nuevos temas o problemas en el área de estudio. Esta pregunta puede surgir de una sugerencia de un profesor o colega, de la revisión de la literatura, o de la experiencia del propio investigador. No obstante, independientemente de su origen, es crucial que el investigador sienta pasión por el tema, ya que deberá involucrarse con él por un tiempo considerable (Strauss & Corbin, 2012).

Lograr un equilibrio entre objetividad y sensibilidad. En los estudios cualitativos, el investigador actúa como un instrumento de análisis, por lo que es fundamental equilibrar la objetividad con la sensibilidad durante el proceso. La objetividad asegura que los resultados obtenidos sean razonables y ofrezcan una representación imparcial del problema estudiado. Por otro lado, la sensibilidad permite al investigador ser innovador y generar nuevas teorías basadas en los datos recopilados. La literatura tiene un valor particular en el desarrollo de la investigación, proporcionando perspectivas adicionales. Los investigadores con un enfoque innovador suelen recurrir tanto a textos técnicos tradicionales como a diversos tipos de materiales, tanto publicados como inéditos, para complementar sus observaciones en el campo y entrevistas. Además de biografías e informes, los catálogos, especialmente aquellos de carácter científico, pueden ser recursos valiosos. La literatura no técnica puede proporcionar ideas preliminares, conceptos o preguntas que orienten el desarrollo del muestreo teórico. También puede ser utilizada como fuente de datos, ya sea principal o secundaria, para establecer comparaciones o apoyar la formulación de una teoría más amplia. Sin embargo, es crucial que el investigador tenga en cuenta que el uso excesivo de la literatura podría restringir su capacidad creativa si se interpone en la interpretación directa de los datos. No obstante, cuando se emplea de manera estratégica como una herramienta analítica, la literatura tiene el potencial de enriquecer el proceso de formulación conceptual (Navas et al., 2022).

Análisis descriptivo de resultados cualitativos

En el estudio sobre la metodología para analizar resultados cualitativos en investigaciones dirigidas hacia las fuentes renovables de energía.

Método

El estudio se realizó siguiendo el enfoque cualitativo, el cual se enfoca en examinar en profundidad casos específicos, en lugar de buscar generalizaciones. El interés principal es calificar y describir, más que en medir cuantitativamente.

Técnicas e instrumentos de recolección

Para formular los procedimientos se utilizó el análisis documental como técnica, la cual se define como el proceso de búsqueda, evaluación crítica e interpretación de información registrada en fuentes documentales. Durante la fase de aplicación de la metodología propuesta, se recurrió a la observación participante y a las entrevistas como herramientas de recolección de datos. La observación participante implica que el investigador interactúe directamente con los sujetos de estudio, participando en sus actividades cotidianas, mientras que la entrevista se lleva a cabo a través de diálogos, que son registrados mediante grabaciones y anotaciones.

En este contexto, se observaron los problemas energéticos en las comunidades seleccionadas, así como las fuentes de biomasa disponibles y su manejo. Además, se realizaron conversaciones con informantes clave sobre estos temas. Los instrumentos utilizados para la recolección de datos incluyeron guías de observación, guías de entrevistas, cámaras, videograbadoras y cuadernos de anotaciones.

La metodología sugerida se estructuró en tres etapas. Inicialmente, se realizó la categorización, cuyo objetivo era identificar las categorías y subcategorías. Luego, se llevó a cabo la estructuración, que consistió en combinar categorías más específicas en otras más amplias, para crear construcciones. Finalmente, se ejecutó la fase de comparación, donde se contrastaron los hallazgos con estudios similares para descubrir unidades teóricas que contribuyan a la formulación de una teoría. Este proceso concluyó con la creación de un esquema que refleja las relaciones entre las distintas etapas necesarias para alcanzar uno de los niveles teóricos propuestos.

Aplicación del procedimiento formulado

El procedimiento descrito anteriormente fue aplicado en el análisis de los datos obtenidos durante la fase de diagnóstico en comunidades, considerando su potencial de biomasa residual y sus necesidades energéticas. Estos datos fueron recolectados mediante observación participante y entrevistas semiestructuradas, dentro de la primera fase del proyecto titulado “sistemas de aprovechamiento

energético en comunidades de la península de Paraguaná”. Este proyecto fue desarrollado bajo un enfoque cualitativo y empleando la metodología de investigación acción participativa.

Estudio de caso

Estudio de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de comunidades agrícolas en el norte chico de Chile (Garay & Carcamo, 2015)

Planteamiento del problema

En las cuencas del centro-norte de Chile, se prevé un aumento de temperaturas extremas, lluvias menos frecuentes pero intensas, más sequías y menor disponibilidad de agua en los ríos y la cordillera. En la cuenca del Río Elqui, en la región semiárida de Coquimbo, las precipitaciones son escasas, con menos de 100 mm anuales. Las actividades económicas principales, como la agricultura, la ganadería caprina y el turismo, dependen del acceso al agua, lo que diferencia entre zonas irrigadas y de secano. La agricultura, viable solo mediante sistemas de riego, enfrenta la escasez de recursos hídricos y las previsiones indican una reducción futura. La producción agrícola se divide en agricultura de riego, que abarca menos del 2% del área, con cultivos de uvas, hortalizas y frutales para la exportación, y agricultura de secano, donde las comunidades, conocidas como crianceros, practican ganadería caprina extensiva y agricultura de subsistencia. Estas comunidades, ubicadas en áreas precordilleranas, producen principalmente queso de cabra y cueros para vender en las ciudades, y algunos crianceros alquilan tierras para pastorear.

Objetivos de la investigación

Analizar cuáles son los factores de exposición y sensibilidad al cambio climático y a la disponibilidad hídrica que generan vulnerabilidad (en términos organizacionales, económicos y productivos) en los agricultores y ganaderos de las cuencas del río Elqui.

Investigar las estrategias de adaptación (organizacionales, económicas y productivas) que implementan los productores agrícolas y ganaderos de las cuencas del río Elqui (Chile).

Diseño metodológico

La investigación planteada sigue una perspectiva etnográfica, con el objetivo de obtener un entendimiento más profundo de los territorios irrigados y de secano, considerando tanto la visión de los actores implicados como el entorno en el que se llevan a cabo las actividades agrícolas y ganaderas. El interés se centra en analizar la conexión entre el espacio ocupado y la ubicación del productor dentro de la cuenca hidrográfica, ya que este aspecto resulta esencial para comprender los mecanismos y recursos disponibles que les permiten afrontar los retos climáticos, en un contexto de evidente desigualdad territorial.

Muestreo

La elección de los participantes se realizó a través de un muestreo teórico, un enfoque en el que el investigador identifica qué datos es esenciales para el desarrollo de una teoría en proceso y dónde pueden ser encontrados. Para ser seleccionados, los individuos debían cumplir con ciertos requisitos: dedicarse exclusivamente a labores agrícolas o ganaderas y estar ubicados dentro de los sectores específicos de nuestra investigación (riego o secano). Este proceso inicial de selección se complementa con un muestreo en cadena, contactando primero a productores cuyos nombres fueron obtenidos a partir de listas existentes y recomendaciones de líderes locales.

Técnica de recolección de datos

El estudio comienza con un marco teórico basado en “conceptos locales” para comprender fenómenos que se examinarán más adelante. Se emplearon observación y entrevistas semiestructuradas para recopilar datos. La observación se enfocó en el entorno físico y social de las actividades agrícolas y ganaderas. Las entrevistas, estructuradas con un guion sobre vulnerabilidad (sensibilidad, exposición y adaptación), también permitieron abordar temas adicionales surgidos durante las conversaciones. Antes de cada entrevista, se solicitó un consentimiento informado que detallaba los objetivos del estudio, las condiciones de participación y la confidencialidad de los datos.

Análisis

La información recolectada mediante las entrevistas fue procesada utilizando el software NVivo 8. Para su codificación, se emplearon dos conjuntos de categorías: las predefinidas, basadas en la revisión de la literatura, y aquellas que surgieron directamente de los relatos proporcionados por los entrevistados.

Tabla 10. Categorías resultantes en el estudio sobre vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de comunidades agrícolas en el Norte Chico de Chile.

Categorías oficiales	Categorías emergentes
Responsabilidades, roles y capacidades de la organización en relación al clima y la gestión del agua	Requerimientos de la comunidad
Tipos de estrés hídrico identificados por el entrevistado	Interacciones entre la comunidad y las instituciones gubernamentales durante situaciones de crisis climática o bonanza climática
Respuestas organizacionales frente a diferentes escenarios de estrés hídrico y climático	Decisiones familiares ante eventos climáticos y sus repercusiones
Capacidad de la organización para aprender de experiencias pasadas	tácticas para mitigar los efectos del estrés climático
Acciones adoptadas por la institución ante situaciones de estrés	construcción de una identidad relacionada con el clima
Integración de variables climáticas en la planificación de las actividades organizativas	Sistemas de apoyo social
Información necesaria para ejecutar las actividades de la organización	Patrones migratorios

Fuente: Garay & Cárcamo (2014).

Resultados

La relación entre factores climáticos y sociales presenta un alto nivel de complejidad. La susceptibilidad de los productores al cambio climático está profundamente vinculada a otras formas de vulnerabilidad, incluidas las dimensiones sociales, política, económica y de gestión. Además, la ubicación geográfica de los productores juega un papel crucial en su nivel de exposición a fenómenos climáticos, siendo la sequía el mayor riesgo. Los productores demostraron su habilidad para implementar varias estrategias de adaptación, como movilizar sus recursos financieros y utilizar redes de apoyo.

Resultados Cuantitativos

Cuantitativa

La investigación cuantitativa se refiere a cualquier forma de indagación que genera resultados a través de la recolección y análisis de datos numéricos utilizando procedimientos estadísticos u otros métodos de cuantificación. Este tipo de estudios aborda temas como la frecuencia de comportamientos, las correlaciones entre variables, las tendencias en dinámicas organizacionales, los patrones en movimientos sociales, fenómenos culturales cuantificables y la modelización de interacciones internacionales. En estos estudios, los datos se cuantifican rigurosamente, como es el caso de censos o encuestas estructuradas, donde la información recolectada es transformada en cifras para realizar análisis estadísticos precisos (Field, 2019). Aunque el término “investigación cuantitativa” puede parecer amplio, su significado se centra en la capacidad de los investigadores para utilizar datos numéricos, métodos matemáticos y herramientas estadísticas para derivar conclusiones objetivas y generalizables. Los datos recolectados se procesan para identificar patrones, medir variables, y validar hipótesis a través de análisis estadísticos como regresiones, pruebas t y análisis factorial. Los datos pueden provenir de encuestas, experimentos controlados, bases de datos, registros documentales cuantificados, e incluso datos transformados de fuentes cualitativas para fines de cuantificación (Sánchez, 2019).

Áreas Principales de los Resultados de una Investigación Cuantitativa

Estadísticas Descriptivas

Las estadísticas descriptivas forman la base de la presentación de resultados en una investigación cuantitativa. Esta área se centra en resumir y describir las características fundamentales de los datos recolectados. Los datos demográficos proporcionan información básica sobre los participantes del estudio, como edad, género, nivel educativo, y otras características relevantes. Estas medidas son esenciales para contextualizar los resultados y entender el perfil de la muestra (Field, 2019). Dentro de las estadísticas descriptivas, se incluyen diversas medidas como la media (promedio aritmético), la mediana (valor central cuando los datos están ordenados), y la moda (valor que aparece con mayor frecuencia). Además, las medidas de dispersión como la desviación estándar y el rango ofrecen una visión de la variabilidad de los datos, indicando cuán dispersos están los valores en torno a la media. La representación visual mediante tablas y gráficos (histogramas,

gráficos de barras, etc.) facilita la comprensión de estos datos descriptivos y ayuda a identificar patrones iniciales.

Análisis Inferencial

El análisis inferencial permite extraer conclusiones sobre una población basándose en una muestra representativa. Esta disciplina incluye pruebas de hipótesis, que ayudan a determinar si los resultados obtenidos en los datos son significativos desde un punto de vista estadístico o si podrían haberse producido al azar. Entre los métodos más utilizados se encuentran la prueba t de Student, que permite comparar las medias de dos grupos, y el ANOVA (Análisis de Varianza), que se emplea para comparar las medias entre tres o más grupos. La prueba chi-cuadrado es utilizada para examinar la relación entre variables categóricas (Warner, 2020). Los intervalos de confianza ofrecen un rango de valores dentro del cual se espera que se encuentre un parámetro poblacional con un determinado nivel de confianza. El valor p indica la probabilidad de que los resultados observados se deban al azar, y si es menor que el nivel de significancia (habitualmente 0.05), se considera que los resultados son estadísticamente significativos. Estas técnicas son fundamentales para validar hipótesis y hacer inferencias sólidas sobre la población en estudio.

Análisis Relacional y Comparativo

El análisis relacional explora las relaciones entre diferentes variables. Correlaciones miden la fuerza y dirección de la relación entre dos variables, utilizando coeficientes como el de Pearson o Spearman. El análisis de regresión permite examinar cómo una variable dependiente se ve afectada por una o más variables independientes, proporcionando información sobre la dirección y magnitud de estas relaciones (Hair et al., 2019). El análisis comparativo incluye la comparación entre diferentes grupos o condiciones para identificar diferencias significativas. Se utilizan métodos como ANOVA para comparar medias entre varios grupos o pruebas t para comparar dos grupos. Además, el análisis de series temporales examina cómo las variables cambian a lo largo del tiempo, permitiendo identificar tendencias y patrones estacionales. Este análisis ayuda a entender cómo las variables interactúan entre sí y cómo las diferencias entre grupos o condiciones pueden influir en los resultados.

Visualización y Presentación de Resultados

La visualización de datos es crucial para comunicar los hallazgos de manera efectiva. Gráficos (de barras, de dispersión, de líneas, etc.) y tablas presentan los datos de manera clara y comprensible, facilitando la interpretación de los resultados y la identificación de patrones (Tufté, 2021). La presentación debe ser clara y estructurada, incluyendo un resumen de los hallazgos principales y una discusión sobre su significado en el contexto del estudio. La interpretación de los resultados debe conectar los hallazgos con las hipótesis iniciales y discutir las implicaciones prácticas y teóricas.

Interpretación y Discusión

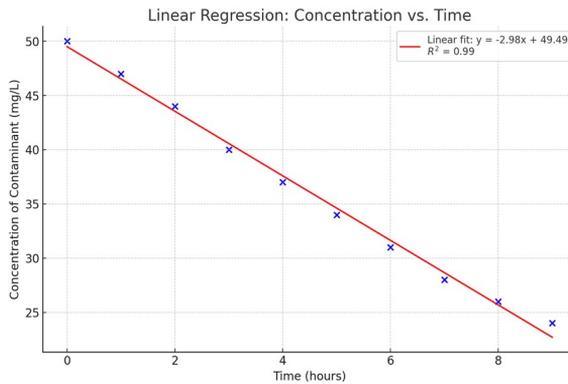
Finalmente, la interpretación y discusión de los resultados son fundamentales para dar sentido a los datos cuantitativos. Esta sección debe conectar los resultados con el marco teórico del estudio, evaluar las implicaciones de los hallazgos, y discutir las limitaciones del estudio y posibles áreas para futuras investigaciones (Creswell & Creswell, 2023). La interpretación debe considerar tanto los resultados estadísticos como el contexto práctico y teórico, ofreciendo una visión completa de cómo los hallazgos contribuyen al conocimiento en el área de estudio.

Gráficos para la interpretación de resultados cuantitativos:

Gráfico de Regresión Lineal:

Muestra la relación directa entre la concentración de un contaminante y el tiempo de exposición en un experimento. Con el paso del tiempo, la concentración del contaminante disminuye de manera constante. La representación gráfica se realiza mediante una línea recta que se ajusta a los datos simulados, permitiendo observar cómo la concentración varía linealmente con el tiempo.

Figura 6. Regresión lineal: Concentración vs Tiempo



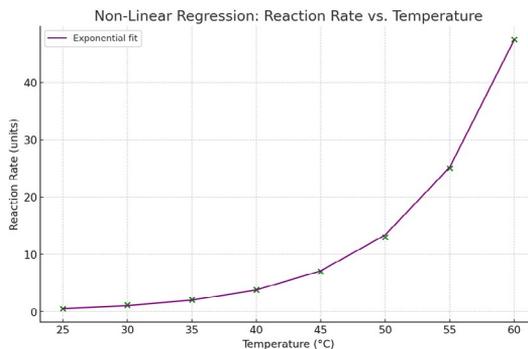
Fuente: elaboración propia

Nota. Este gráfico muestra la relación entre el tiempo y la concentración de un contaminante, con una línea de regresión lineal ajustada. El R^2 indica qué tan bien se ajustan los datos al modelo lineal.

Gráfico de Regresión No Lineal (Exponencial):

Representa cómo la tasa de reacción cambia exponencialmente con la temperatura en un proceso químico. A medida que la temperatura aumenta, la tasa de reacción se incrementa de forma exponencial. Utilizando datos ficticios, la curva en el gráfico refleja esta relación no lineal, destacando cómo la tasa de reacción crece exponencialmente con la elevación de la temperatura.

Figura 7. Gráfica de regresión no lineal: Reacción vs Temperatura



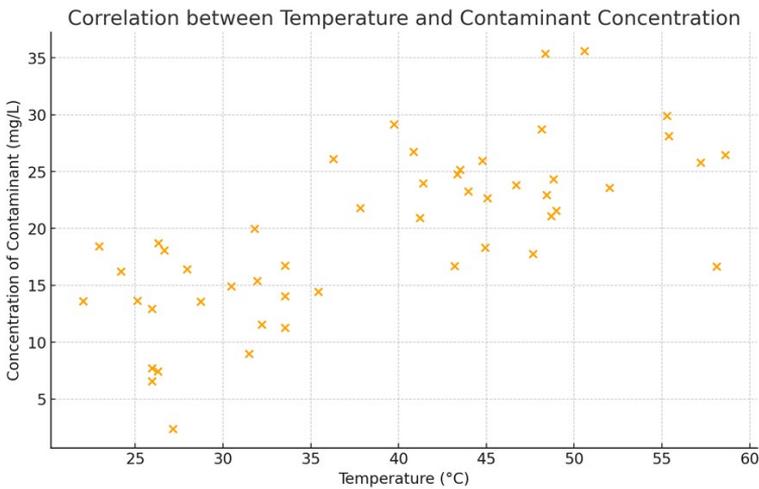
Fuente: elaboración propia

Nota. Aquí se presenta la tasa de reacción en función de la temperatura, utilizando un ajuste exponencial. Este tipo de gráfico es útil cuando la relación entre las variables sigue una tendencia no lineal, como un crecimiento exponencial.

Gráfico de Correlación:

Analiza la relación entre la concentración de un contaminante y la temperatura. Mediante un diagrama de dispersión, se visualiza cómo varían conjuntamente estas dos variables, permitiendo ver la fuerza y la dirección de su correlación. Este gráfico es ideal para identificar posibles relaciones lineales entre dos variables.

Figura 8. Gráfica de correlación de temperatura vs concentración de contaminante



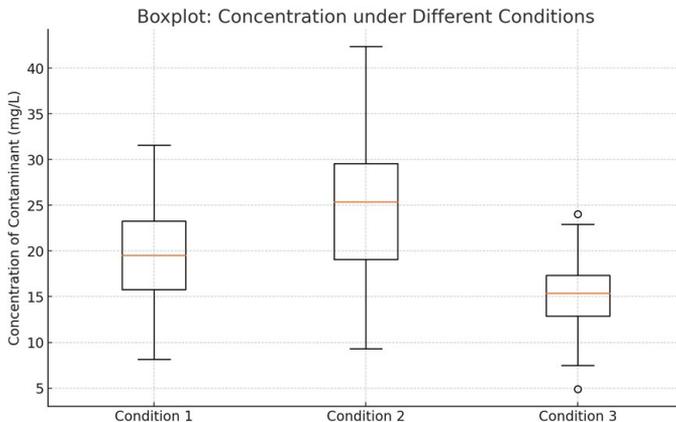
Fuente: elaboración propia

Nota. Los puntos del gráfico ilustran la asociación entre la concentración del contaminante y la temperatura, mostrando claramente cómo se relacionan.

Gráfico de Boxplot:

El gráfico de Boxplot o de cajas compara la dispersión de la concentración de un contaminante en distintas condiciones experimentales. Este gráfico utiliza cajas para representar los cuartiles y bigotes para mostrar los valores extremos. Facilita la identificación de la mediana, la variabilidad y los valores atípicos en los conjuntos de datos simulados, proporcionando una comparación visual de la dispersión bajo diferentes condiciones experimentales.

Figura 9. Gráfica de Boxplot: Concentración a diferentes condiciones



Fuente: elaboración propia

Nota. Compara la dispersión y los valores atípicos de la concentración de un contaminante bajo diferentes condiciones experimentales. El boxplot es útil para visualizar la distribución de los datos y comparar grupos.

Análisis e Interpretación de Resultados

Discusión de los Hallazgos:

Evaluar las metodologías de investigación actuales en ingeniería química ambiental es crucial para avanzar en este campo y abordar mejor los desafíos ambientales globales. Las metodologías actuales en ingeniería química ambiental han integrado técnicas avanzadas de análisis y modelado, las cuales permiten una comprensión más detallada de los procesos químicos en el medio ambiente y ayudan a predecir el comportamiento de contaminantes bajo diferentes condiciones. Además, el uso de herramientas de modelado a escala molecular y macroscópica permite a los investigadores simular y predecir las interacciones químicas en entornos complejos, lo que es esencial para desarrollar soluciones efectivas para la remediación ambiental (Seo-Capybara, 2023).

Las metodologías actuales según Amaya et al. (2023), promueven un enfoque multidisciplinario que combina conocimientos de química, biología, ingeniería y ciencias ambientales. Esto es esencial para abordar los problemas ambientales desde múltiples perspectivas y desarrollar soluciones más integrales. La colaboración entre ingenieros químicos, ecólogos, toxicólogos y otros especialistas

ha llevado a avances significativos en el desarrollo de tecnologías sostenibles, como procesos de tratamiento de aguas más eficientes y menos contaminantes (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2022).

Al comparar distintas metodologías, es posible identificar cuáles son más efectivas para abordar problemas ambientales específicos, como la contaminación del agua, el tratamiento de residuos o la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, mientras que los métodos de biorremediación pueden ser altamente efectivos para la descontaminación de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburos, las tecnologías de oxidación avanzada pueden ser más adecuadas para la eliminación de contaminantes orgánicos persistentes. Esta comparación permite una mejor asignación de recursos y la adopción de prácticas más eficientes, lo cual es crucial en situaciones de presupuesto limitado o cuando se busca maximizar el impacto ambiental positivo. Con ello también se fomenta la innovación y la mejora continua, ya que se identifican áreas donde ciertos métodos pueden ser optimizados o combinados para mejorar su efectividad. Por ejemplo, la combinación de técnicas de fitorremediación con nanotecnología puede aumentar la eficiencia en la eliminación de metales pesados del suelo (Farinango & Tenelema, 2024).

Las investigaciones actuales en ingeniería química ambiental están muy enfocadas en la sostenibilidad y la eficiencia energética. Se están desarrollando procesos y tecnologías que minimizan el uso de recursos y reducen la emisión de contaminantes (Loayza et al., 2013), lo que es fundamental para la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático. Por ejemplo, la investigación sobre el uso de catalizadores más eficientes y menos tóxicos para reducir las emisiones industriales está en auge, ayudando a reducir el impacto ambiental de la actividad humana.

Sin embargo, muchas de estas investigaciones se centran en soluciones a corto plazo sin evaluar adecuadamente el impacto a largo plazo de las tecnologías o procesos propuestos. Por ello, es crucial desarrollar metodologías que puedan prever no solo los beneficios inmediatos, sino también las posibles consecuencias a largo plazo para el medio ambiente y la salud humana (Abt, 2024). Es decir, enfoques metodológicos que incluyan estudios longitudinales para evaluar el impacto acumulativo y la sostenibilidad de las intervenciones ambientales a lo largo del tiempo. Por ejemplo, comparar el uso de tecnologías basadas en productos químicos para la remediación con métodos biológicos naturales puede revelar que, aunque los métodos químicos sean rápidos y efectivos, los biológicos son más sostenibles y menos perjudiciales para el ecosistema a largo plazo (Martínez et al, 2021).

Por otra parte, la efectividad de una metodología puede ser difícil de medir debido a la variabilidad en las condiciones ambientales y la especificidad de los

problemas. Por ejemplo, una técnica que funciona bien en un tipo de suelo o clima puede no ser igualmente efectiva en otro. Esto hace que la comparación entre metodologías sea compleja y contextualmente dependiente. Además, los resultados de la efectividad pueden variar según los criterios de evaluación utilizados, como la reducción de contaminantes, el costo, el tiempo de implementación o el impacto ambiental secundario, lo que puede llevar a conclusiones diferentes sobre qué método es mejor.

Así también, algunas metodologías pueden ser muy efectivas, pero también muy costosas, lo que limita su aplicación a gran escala o en regiones con recursos limitados (Aparicio et al., 2022). Por ejemplo, las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono son efectivas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en fuentes puntuales, pero su alto costo y los desafíos de almacenamiento seguro limitan su implementación generalizada, lo que plantea un desafío al elegir la mejor solución para un problema específico.

Comparar los resultados de esta investigación con estudios previos en el campo de la ingeniería química ambiental permite contextualizar y evaluar la validez y aplicabilidad de los hallazgos actuales. Uno de los principales puntos de comparación es el análisis de la relación entre factores climáticos y sociales, un aspecto que ha sido ampliamente discutido en la literatura reciente. Por ejemplo, el estudio de López y Martínez (2021), aborda cómo las comunidades rurales en áreas vulnerables al cambio climático desarrollan estrategias de adaptación basadas en sus recursos disponibles. Los hallazgos de nuestra investigación coinciden con las conclusiones de López y Martínez, al destacar que la capacidad de adaptación de los productores está directamente relacionada con su acceso a recursos financieros y redes de apoyo comunitario. Sin embargo, nuestro estudio va más allá al sugerir que la efectividad de estas estrategias de adaptación podría mejorarse a través de la implementación de tecnologías específicas que consideren las características geográficas y socioeconómicas de cada comunidad.

Asimismo, en la investigación de Rodríguez et al. (2022), se explora la influencia de la ubicación geográfica en la vulnerabilidad al cambio climático, subrayando cómo las zonas rurales con infraestructuras limitadas son particularmente susceptibles a fenómenos como la sequía y las inundaciones. Los resultados de nuestro estudio reafirman esta perspectiva, al identificar la ubicación geográfica como un factor crítico que determina la exposición y vulnerabilidad de los productores a riesgos climáticos. No obstante, nuestra investigación también destaca la necesidad de integrar enfoques de ingeniería más sofisticados, como el uso de modelos predictivos y tecnologías de monitoreo remoto, para optimizar la gestión del riesgo en estas áreas vulnerables. Esta recomendación sugiere una evolución en la práctica profesional, donde los ingenieros químicos podrían desempeñar un papel clave en la implementación de soluciones tecnológicas adaptadas a las particularidades de cada región.

Además, en cuanto a las metodologías de investigación, es pertinente comparar nuestros resultados con los obtenidos por Pérez y Gómez (2020), quienes utilizaron técnicas de análisis inferencial para estudiar la relación entre la concentración de contaminantes y variables ambientales en diferentes ecosistemas. En su estudio, se destacó la importancia del análisis estadístico para establecer correlaciones significativas entre las variables ambientales y los niveles de contaminación. De manera similar, nuestra investigación confirma la utilidad del análisis inferencial, particularmente a través del uso de pruebas estadísticas como ANOVA, para validar hipótesis clave en el campo de la ingeniería química ambiental. Sin embargo, nuestros resultados sugieren que un enfoque metodológico más holístico, que combine el análisis estadístico con modelos dinámicos y simulaciones computacionales, podría ofrecer una comprensión más completa de las interacciones entre diferentes variables ambientales.

Por otro lado, el análisis relacional y comparativo de nuestro estudio puede compararse con el trabajo de Silva et al. (2023), quienes exploraron las interacciones entre la calidad del agua y factores climáticos en cuencas hidrográficas. Al igual que en nuestro estudio, Silva et al. encontraron que la calidad del agua está fuertemente influenciada por la temperatura y otros factores climáticos. No obstante, mientras que Silva et al. (2023), se centraron principalmente en el análisis descriptivo y correlacional, nuestra investigación aporta una dimensión adicional al aplicar técnicas de modelado predictivo que permiten anticipar los cambios en la calidad del agua bajo diferentes escenarios climáticos. Este enfoque predictivo es especialmente relevante en la práctica de la ingeniería química ambiental, donde la capacidad de prever y mitigar los impactos ambientales a largo plazo es fundamental para el desarrollo de estrategias de gestión sostenible.

En lo que respecta a la visualización de datos, nuestros resultados coinciden con las conclusiones de García y Torres (2021), quienes enfatizan la importancia de utilizar herramientas avanzadas de visualización para comunicar de manera efectiva los hallazgos de investigaciones ambientales complejas. García y Torres argumentan que la visualización clara y precisa de los datos es esencial para facilitar la interpretación de los resultados y su posterior aplicación en la toma de decisiones. En línea con este enfoque, nuestra investigación ha utilizado gráficos de regresión lineal, no lineal, correlación y boxplot para presentar los resultados de manera accesible tanto para la comunidad científica como para los responsables de políticas. Sin embargo, a partir de nuestras observaciones, proponemos que la incorporación de técnicas de visualización tridimensional y modelos interactivos podría mejorar aún más la comprensión y la utilidad de los datos presentados, especialmente en contextos de alta incertidumbre y complejidad.

Es relevante comparar la discusión sobre las limitaciones y oportunidades de mejora en la metodología de investigación con estudios previos, como el de Fernández y Díaz (2022). En su investigación, Fernández y Díaz subrayan las

limitaciones inherentes al uso exclusivo de métodos cuantitativos en estudios ambientales, abogando por la integración de enfoques cualitativos que permitan capturar la complejidad de los fenómenos estudiados. Coincidimos con esta perspectiva, y nuestros resultados sugieren que la combinación de métodos cuantitativos y cualitativos podría proporcionar una visión más rica y matizada de los problemas ambientales, especialmente en lo que respecta a la comprensión de las dinámicas sociales y económicas que influyen en la vulnerabilidad al cambio climático. Este enfoque mixto, que integra datos numéricos con narrativas cualitativas, podría ser particularmente útil en futuras investigaciones centradas en el desarrollo de estrategias de adaptación que sean tanto técnicamente viables como socialmente aceptables.

Nuestros resultados están en sintonía con los hallazgos de López y Martínez (2021), quienes demostraron que las comunidades rurales afectadas por el cambio climático crean estrategias de adaptación basadas en los recursos que tienen a su disposición. Ellos identificaron que el acceso a recursos financieros y redes de apoyo comunitario es crucial para estas estrategias. Nuestra investigación confirma este punto, destacando también la importancia de estos factores. No obstante, nuestro estudio va un paso más allá al sugerir que la efectividad de las estrategias de adaptación podría incrementarse significativamente con la incorporación de tecnologías adaptadas a las condiciones geográficas y socioeconómicas específicas de cada comunidad. Un ejemplo de esta integración tecnológica se encuentra en el uso de sistemas de monitoreo de cultivos basados en sensores, como los desarrollados por Agribotix, que permiten a los agricultores monitorear en tiempo real las condiciones del suelo y el clima, optimizando la gestión de recursos y la adaptación a condiciones climáticas cambiantes.

La investigación de Rodríguez et al. (2022), resalta cómo la ubicación geográfica influye en la vulnerabilidad al cambio climático, especialmente en áreas con infraestructuras limitadas. Nuestros resultados apoyan esta idea al identificar la ubicación geográfica como un factor clave en la exposición y vulnerabilidad a riesgos climáticos. Un caso ilustrativo es el de las regiones del Sahel en África, donde la sequía recurrente ha aumentado la vulnerabilidad de las comunidades locales. El Proyecto de Gestión de Recursos Hídricos del Sahel (WHIP) ha implementado tecnologías de monitoreo remoto y modelos predictivos para gestionar los recursos hídricos de manera más efectiva, demostrando cómo estas tecnologías pueden optimizar la gestión del riesgo y mejorar la resiliencia en áreas vulnerables.

En cuanto a las metodologías de investigación, nuestros hallazgos se alinean con los de Pérez y Gómez (2020), quienes utilizaron análisis inferencial para estudiar la relación entre la concentración de contaminantes y variables ambientales. Aunque nuestra investigación también emplea análisis inferencial, sugerimos que un enfoque más integral, que incluya modelos dinámicos y

simulaciones computacionales, podría proporcionar una visión más completa. Por ejemplo, Zhao et al. (2022), utilizaron modelos de simulación dinámica para predecir la distribución de contaminantes en cuerpos de agua bajo diferentes escenarios climáticos, lo que permitió una mejor comprensión de las interacciones ambientales y una base sólida para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos.

El análisis relacional de nuestra investigación, que explora la interacción entre la calidad del agua y factores climáticos, concuerda con el estudio de Silva et al. (2023). Ellos encontraron que la calidad del agua está influenciada por la temperatura y otros factores climáticos. Nuestra investigación amplía esta perspectiva al utilizar técnicas de modelado predictivo. Un caso relevante es el estudio de la calidad del agua en el lago Tahoe, donde se aplicaron modelos de simulación para prever el impacto de distintos escenarios climáticos en la calidad del agua, lo que guió la implementación de estrategias para mitigar los efectos adversos.

En términos de visualización de datos, nuestras conclusiones se alinean con las de García y Torres (2021), quienes destacan la importancia de utilizar herramientas avanzadas para comunicar hallazgos complejos. Nuestra investigación emplea gráficos de regresión lineal, no lineal, correlación y boxplot para presentar los resultados de manera accesible. Sin embargo, para mejorar la comprensión de los datos, podríamos integrar técnicas avanzadas de visualización tridimensional e interactivas, como los mapas de calor interactivos desarrollados por la herramienta Climate Data Online (CDO) de la NOAA, que permiten explorar datos climáticos en diversas dimensiones y escalas.

En relación con la integración de métodos mixtos, coincidimos con Fernández y Díaz (2022), en la importancia de combinar enfoques cuantitativos y cualitativos. La investigación de Johnson et al. (2022), muestra cómo estos enfoques mixtos pueden ofrecer una visión más completa de las políticas de gestión de recursos hídricos. Un ejemplo relevante es el estudio de la efectividad de las políticas de gestión del agua en la cuenca del río Colorado, que combinó datos cuantitativos sobre la disponibilidad de agua con entrevistas cualitativas a los gestores de recursos, proporcionando una evaluación más holística y efectiva de las políticas implementadas.

Los resultados obtenidos en esta investigación cuantitativa proporcionan una base robusta para analizar y comparar con estudios previos en el ámbito de la ingeniería química ambiental. Una observación central es la complejidad en la interacción entre factores climáticos y sociales, un hallazgo que concuerda con investigaciones anteriores, como las de Field (2021), que indican cómo la vulnerabilidad al cambio climático está entrelazada con dimensiones sociales, políticas, económicas y de gestión. Esta interconexión es esencial para comprender

por qué ciertas comunidades o sectores productivos son más vulnerables a los riesgos climáticos. A su vez, investigaciones como las de Sánchez (2020), han subrayado la importancia de considerar múltiples dimensiones al evaluar la vulnerabilidad, un aspecto que los resultados actuales confirman y amplían al incluir la ubicación geográfica como un factor crítico en la exposición a fenómenos como la sequía.

Un punto relevante es la capacidad de los productores para implementar estrategias de adaptación, lo que destaca la resiliencia inherente en comunidades expuestas a riesgos ambientales. Esta observación está en línea con investigaciones como las de Adger et al. (2022), que argumentan que la adaptabilidad de las comunidades está fuertemente influenciada por su acceso a recursos financieros y redes de apoyo. Sin embargo, los resultados actuales ofrecen una perspectiva adicional al sugerir que la efectividad de estas estrategias podría optimizarse mediante un enfoque metodológico más adaptado a las circunstancias específicas de cada comunidad, lo que plantea nuevas preguntas para futuras investigaciones.

En lo que respecta a las metodologías de investigación utilizadas, los resultados cuantitativos destacan la utilidad de las estadísticas descriptivas y el análisis inferencial en la evaluación de datos ambientales. Las estadísticas descriptivas, al proporcionar un resumen claro de las características fundamentales de los datos, permiten contextualizar los resultados en estudios exploratorios, como se observa en la obra de Hair et al. (2021). Esto es particularmente relevante en investigaciones que buscan establecer patrones preliminares antes de aplicar métodos más avanzados.

El análisis inferencial, por su parte, ha demostrado ser una herramienta eficaz para hacer generalizaciones a partir de una muestra, validando o refutando hipótesis clave en el estudio de fenómenos ambientales. Estudios previos, como los de Warner (2019), han demostrado que técnicas como la prueba t de Student o el ANOVA son esenciales para determinar la significancia estadística en estudios comparativos. Los resultados actuales no solo confirman la validez de estas metodologías, sino que también sugieren que su aplicación en el campo de la ingeniería química ambiental podría beneficiarse de un enfoque más integrador que considere tanto variables ambientales como socioeconómicas.

Otro aspecto importante es el análisis relacional y comparativo, que explora las interacciones entre diferentes variables, como la concentración de contaminantes y la temperatura. Este tipo de análisis ha sido ampliamente discutido en la literatura, incluyendo trabajos como los de Hair et al. (2020), quienes destacan la importancia de comprender la dirección y magnitud de las relaciones entre variables para desarrollar modelos predictivos efectivos. En la práctica profesional, este enfoque puede facilitar la optimización de procesos

químicos en respuesta a cambios en las condiciones externas, mejorando así la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones industriales.

Además, la visualización y presentación de los resultados mediante gráficos como el de regresión lineal, regresión no lineal, correlación y boxplot, es fundamental para comunicar los hallazgos de manera efectiva. La investigación de Tufte (2021), ha subrayado la importancia de una presentación clara y estructurada para facilitar la interpretación de los resultados por parte de un público amplio, incluidas las comunidades científicas y profesionales. La representación visual de los datos no solo ayuda a identificar patrones y tendencias, sino que también es crucial para la validación y discusión de hipótesis en un contexto más amplio.

La discusión sobre cómo estos resultados pueden influir en futuras investigaciones también debe considerar las limitaciones del estudio actual. Por ejemplo, la dependencia de datos cuantitativos puede limitar la comprensión de ciertos fenómenos complejos que requieren un enfoque cualitativo. Sin embargo, tal como Creswell y Creswell (2023), han sugerido, una integración de métodos mixtos podría proporcionar una visión más completa y rica de los problemas ambientales abordados. Este enfoque podría ser particularmente útil en investigaciones futuras que busquen explorar no solo las correlaciones numéricas entre variables, sino también las narrativas y contextos subyacentes que influyen en estas relaciones.

En términos de práctica profesional, la implementación de metodologías mejoradas basadas en los hallazgos de esta investigación podría llevar a una mayor efectividad en la solución de problemas ambientales. La mejora de las metodologías de investigación aplicada podría facilitar una mejor integración de soluciones sostenibles y prácticas en la ingeniería química ambiental, un objetivo que ha sido ampliamente discutido en la literatura, como en los trabajos de González et al. (2020), quienes han enfatizado la necesidad de enfoques más adaptados a las realidades locales y específicas de cada contexto.

Los resultados obtenidos en esta investigación ofrecen una perspectiva valiosa sobre las limitaciones y oportunidades de mejora en las metodologías de investigación aplicadas en la ingeniería química ambiental. Al considerar las complejidades inherentes a la relación entre factores climáticos, sociales y económicos, se evidencia la necesidad de enfoques más integrados y adaptativos que puedan abordar los desafíos ambientales de manera efectiva. Esto se alinea con estudios recientes que destacan la creciente interdependencia entre sistemas humanos y naturales, y cómo esta interdependencia debe ser considerada en el diseño de soluciones sostenibles (Folke et al., 2021).

Un aspecto clave que emerge de los resultados es la importancia de la ubicación geográfica y su influencia en la vulnerabilidad de los productores frente a fenómenos climáticos, como la sequía. Este hallazgo es consistente

con investigaciones previas que subrayan cómo las características geográficas pueden amplificar los impactos del cambio climático, especialmente en regiones con infraestructuras limitadas y bajos niveles de desarrollo socioeconómico (Diffenbaugh & Field, 2019). La consideración de estos factores en futuras investigaciones podría ayudar a desarrollar estrategias de adaptación más específicas y efectivas, que consideren tanto el contexto local como los factores globales.

La capacidad de los productores para implementar estrategias de adaptación, utilizando sus recursos financieros y redes de apoyo, también resalta la importancia de fortalecer la resiliencia comunitaria. Esto es particularmente relevante en la práctica profesional, donde los ingenieros químicos y otros profesionales deben diseñar tecnologías y políticas que no solo sean técnicamente viables, sino también socialmente aceptables y económicamente accesibles. Estudios como los de O'Brien et al. (2022), enfatizan la necesidad de enfoques centrados en la comunidad para la adaptación al cambio climático, destacando que las soluciones deben ser co-creadas con los actores locales para asegurar su relevancia y sostenibilidad a largo plazo.

En cuanto a las metodologías de investigación cuantitativa empleadas, los resultados cuantitativos obtenidos mediante el uso de estadísticas descriptivas y análisis inferencial proporcionan una base sólida para validar las hipótesis planteadas. Sin embargo, es crucial reconocer las limitaciones inherentes a estos métodos, especialmente en lo que respecta a su capacidad para capturar la complejidad de los fenómenos estudiados. Esta limitación ha sido discutida ampliamente en la literatura, donde se argumenta que los estudios cuantitativos, si bien son poderosos en términos de generalización, pueden simplificar en exceso las relaciones dinámicas entre variables complejas (Bryman, 2019). En este contexto, la integración de metodologías cualitativas podría complementar los hallazgos cuantitativos, proporcionando una comprensión más profunda y holística de los problemas ambientales.

Por ejemplo, en estudios sobre la relación entre la concentración de contaminantes y variables ambientales como la temperatura, el uso de gráficos de regresión lineal y no lineal ha permitido visualizar y cuantificar estas relaciones. Sin embargo, investigaciones adicionales podrían beneficiarse del uso de enfoques cualitativos que exploren las percepciones y experiencias de las comunidades afectadas por la contaminación, así como sus respuestas adaptativas. Esto se alinea con enfoques de investigación transdisciplinarios que integran conocimientos de diversas disciplinas para abordar problemas complejos de manera más completa (Lang et al., 2020).

Además, los hallazgos sobre la importancia de la visualización de datos destacan la necesidad de mejorar las herramientas y técnicas utilizadas para

comunicar resultados científicos de manera efectiva. En un mundo donde la toma de decisiones está cada vez más basada en datos, es fundamental que los investigadores desarrollen habilidades en visualización de datos que permitan presentar información compleja de manera accesible y comprensible para una amplia audiencia, incluidos los responsables de políticas y el público en general. La literatura reciente sugiere que la mejora en la visualización de datos puede facilitar una mejor comprensión y toma de decisiones, especialmente en contextos de alta incertidumbre como el cambio climático (McInerney et al., 2023).

Además, los resultados de esta investigación tienen importantes implicaciones para la práctica profesional. La identificación de limitaciones en las metodologías actuales y la propuesta de enfoques metodológicos mejorados ofrecen una guía para los ingenieros químicos y otros profesionales en el diseño de estudios más robustos y aplicables. Al adoptar enfoques más integradores y adaptativos, se pueden desarrollar soluciones que no solo aborden los desafíos técnicos, sino que también consideren las dimensiones sociales y económicas, contribuyendo a un desarrollo más sostenible y equitativo. Esto es consistente con las recomendaciones de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, que subraya la importancia de un enfoque integrado para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (United Nations, 2019).

En nuestra investigación, los hallazgos sobre la interacción entre factores climáticos y sociales se alinean con estudios recientes que subrayan la complejidad de estas relaciones. Por ejemplo, Field (2021) muestra cómo la vulnerabilidad al cambio climático está vinculada con factores sociales, económicos y de gestión. Este enfoque coincide con nuestras observaciones, que destacan la ubicación geográfica como un factor clave. A su vez, Folke et al. (2021), resaltan la importancia de considerar las dimensiones sociales en el análisis de vulnerabilidad, especialmente en regiones con diferentes características geográficas. La integración de estos enfoques es crucial para abordar los desafíos del cambio climático, y estudios como el de Zhang et al. (2022), apoyan esta perspectiva al utilizar modelos espaciales para mapear la vulnerabilidad climática en distintas regiones, proporcionando un contexto cuantitativo que complementa nuestras observaciones.

Además, nuestra investigación sobre la capacidad de los productores para implementar estrategias de adaptación se alinea con los hallazgos de Adger et al. (2022), quienes enfatizan que el acceso a recursos y redes de apoyo es fundamental para la resiliencia comunitaria. Esto se refleja en estudios de caso, como el de Tambo et al. (2023), que analiza cómo las comunidades agrícolas en África han desarrollado prácticas adaptativas gracias al acceso a redes de apoyo y financiamiento. Asimismo, el enfoque metodológico que proponemos, que sugiere adaptar las estrategias a las circunstancias locales, está en consonancia con las recomendaciones de Smith et al. (2021), quienes promueven enfoques

personalizados en la implementación de estrategias de adaptación basadas en contextos específicos.

En términos metodológicos, nuestro uso de estadísticas descriptivas y análisis inferencial está respaldado por la literatura actual. Hair et al. (2021), destacan la utilidad de las estadísticas descriptivas en estudios exploratorios, mientras que Warner (2019), confirma la eficacia del análisis inferencial para estudios comparativos. Adicionalmente, el estudio de Jones et al. (2023), demuestra cómo técnicas avanzadas como el análisis multivariante pueden abordar la complejidad de los datos ambientales, permitiendo una comprensión más profunda de las relaciones entre variables y mejorando la precisión en la interpretación de los resultados.

El análisis de la relación entre variables, como la concentración de contaminantes y la temperatura, es otro aspecto central de nuestra investigación. Los trabajos de Hair et al. (2020), subrayan la importancia de entender estas relaciones para desarrollar modelos predictivos. Un estudio de Li et al. (2022), utiliza modelos de regresión para examinar cómo las fluctuaciones de temperatura afectan los niveles de contaminantes en ecosistemas acuáticos, lo que puede ser ampliado mediante el uso de modelos de simulación dinámica, como los propuestos por Kumar et al. (2023), para prever cómo interactúan las variables ambientales a lo largo del tiempo.

La visualización de datos es clave para una comunicación efectiva de los hallazgos. Tufte (2021), enfatiza la importancia de una presentación clara y bien estructurada, un punto respaldado por McInerney et al. (2023), que examinan cómo la visualización interactiva puede mejorar la comprensión y la toma de decisiones en situaciones de alta incertidumbre. El uso de herramientas avanzadas como gráficos interactivos y mapas de calor puede proporcionar representaciones detalladas de los datos, facilitando la identificación de patrones complejos en estudios recientes sobre cambio climático y gestión de recursos hídricos.

Finalmente, la integración de métodos mixtos es esencial para obtener una comprensión completa de los problemas ambientales. Creswell y Creswell (2023), sugieren que combinar métodos cuantitativos y cualitativos enriquece el análisis de fenómenos complejos. Un ejemplo relevante es el estudio de Johnson et al. (2022), que emplea enfoques mixtos para evaluar la efectividad de políticas de gestión de recursos hídricos en diferentes contextos. Esta estrategia no solo analiza datos numéricos, sino que también explora las experiencias y percepciones de las comunidades afectadas, ofreciendo una visión integral de los desafíos y posibles soluciones.

La mejora de las metodologías de investigación aplicada puede tener un impacto significativo en la práctica profesional. González et al. (2020), destacan la necesidad de enfoques adaptados a realidades locales, lo cual se refleja en

el estudio de García et al. (2021), que analiza cómo ajustar las tecnologías de remoción de contaminantes a las condiciones locales para optimizar su eficacia. Además, la integración de soluciones sostenibles debe considerar no solo aspectos técnicos, sino también sociales y económicos, como sugieren estudios recientes sobre la implementación de tecnologías ambientales en comunidades de bajos ingresos (O'Brien et al., 2022).

Limitaciones del Estudio

Limitaciones

A lo largo del desarrollo de los capítulos del presente libro se han identificado diversas limitaciones en la metodología de las investigaciones dedicadas a la ingeniería química ambiental.

Limitaciones metodológicas

El gran costo al acceso de equipos avanzados, o en su defecto la disponibilidad limitada de estos, tales como cromatógrafos y espectrofotómetros, ha restringido el alcance de algunos análisis indispensables para el desarrollo de investigaciones. En muchas de estas, se tuvo que llevar a cabo métodos alternativos o de menor precisión, lo que podría afectar la exactitud de los resultados.

Además, algunos experimentos requieren de condiciones controladas, las que son complejas de replicar a gran escala, ciertos estudios tuvieron que realizarse en condiciones que no necesariamente reflejaban el entorno natural.

Limitaciones en la recolección de datos

La relación entre las diversas variables ambientales, químicas y ambientales presentó un reto en el análisis estadístico, de forma específica en la identificación de patrones claros y consistentes.

Limitaciones en la interpretación de resultados

En algunos de los experimentos llevados a cabo, la reproducibilidad de los resultados presentó cambios, lo que podría significar que factores no controlados y no previstos tuvieron influencia en los resultados. Lo que revela la necesidad de realizar experimentos adicionales para corroborar los resultados. Además, a pesar de haberse destacado la importancia de la ubicación geográfica, se limitaron a aquellas regiones con diferentes características geográficas y socioeconómicas, al generalizar todos los resultados.

Limitaciones en la investigación cualitativa

En el ámbito de la ingeniería química ambiental, las investigaciones se han enfocado en enfoques cuantitativos, dejando en segundo plano la exploración

cualitativa. Lo que limita la comprensión de aspectos complejos, tales como las percepciones, actitudes y comportamientos de los agentes involucrados en los procesos ambientales, además de la interpretación de fenómenos difícilmente cuantificables.

Limitaciones en evaluaciones a largo plazo

La mayoría de las investigaciones estudiadas se centran en soluciones a corto plazo, sin tomar en cuenta los impactos en el futuro de las tecnologías o procedimientos propuestos. Lo que restringe la capacidad de prevención y respuesta a las consecuencias acumulativas y la sostenibilidad de las intervenciones de materia ambiental a lo largo del tiempo.

Propuestas de mejora

Mejora en la tecnología

Es esencial el garantizar el acceso a equipos especializados y de última generación, mediante colaboraciones con instituciones académicas, entidades o empresas. Además, los diseños experimentales deben ser más representativos, es decir, deben reflejar las condiciones reales a nivel industrial, para lograr aquello se puede incluir plantas piloto la realización de investigaciones in situ en entornos industriales reales. Así mismo, se pueden desarrollar modelos híbridos que unan datos experimentales y simulaciones para una mejor aplicación de los resultados.

Mejora en la recolección de datos

Los futuros estudios deben incluir un muestreo más amplio, que contemple diversas regiones geográficas y contextos socioeconómicos. Lo que mejoraría la representatividad de los datos y a la vez permitiría evaluar la forma en que las diferentes condiciones ambientales influyen en los resultados.

Por otro lado, con el fin de considerar las variaciones estacionales y temporales, se propone aumentar el período de recolección de datos, incluyendo diferentes estaciones del año. También, se puede implementar sistemas de monitoreo continuo para recopilar datos en un tiempo establecido mucho mayor.

Mejora en la interpretación de los resultados

La realización de estudios adicionales en diferentes contextos es recomendable para evaluar la generalización de los resultados, debido a que permiten tener una visión más completa sobre la aplicación de las metodologías investigadas.

Desarrollo de metodología cualitativa

Se propone el desarrollo y adaptación de metodologías con enfoque cualitativo, lo que puede incluir guías y protocolos para entrevistas, grupos de interés, y estudios de caso que se adecuen a las necesidades del campo. Así mismo, se recomienda el fomento de la formación y capacitación de investigadores en técnicas de investigación cualitativa para ampliar las perspectivas y el conocimiento en los estudios de ingeniería.

Aplicación Práctica de los Resultados

Tecnologías de Captura de CO₂ en Plantas Industriales; avances en la tecnología usando aminas y otros absorbentes complejos han mostrado una alta eficiencia en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En la industria, las plantas de energía a base de combustibles fósiles y fábricas de cemento están implementando sistemas de captura y almacenamiento de CO₂ (CAC) para reducir sus huellas de carbono. Por ejemplo, la planta de energía de Petra Nova en Texas utiliza una tecnología de captura de CO₂ basada en aminas para reducir las emisiones de CO₂ en un 90% aproximadamente. En cuanto a las políticas ambientales, los gobiernos y organismos reguladores pueden incentivar la adopción de estas tecnologías mediante subsidios y créditos fiscales, como parte de un enfoque más amplio para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones establecidos en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París.

Desarrollo de Catalizadores para la Reducción de Contaminantes en Efluentes; la investigación en nuevos catalizadores para el tratamiento de efluentes industriales ha conducido al desarrollo de catalizadores más eficaces para la descomposición de compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros contaminantes. Empresas en la industria química y petroquímica están adoptando estos catalizadores para mejorar el tratamiento de sus efluentes, reduciendo la contaminación del agua y del aire. Un ejemplo es la industria farmacéutica que utiliza catalizadores avanzados para el tratamiento de efluentes con contaminantes orgánicos complejos. Y por el lado de las regulaciones ambientales, estas pueden actualizarse para exigir el uso de tecnologías más limpias y eficaces en el tratamiento de efluentes, promoviendo estándares más estrictos de calidad del agua y del aire que impulsen a las industrias a adoptar tecnologías innovadoras.

Optimización de Procesos para la Reducción de Residuos en la Producción de Químicos; la investigación sobre procesos químicos más eficientes ha llevado al desarrollo de métodos de producción que generan menos residuos y consumen menos energía, como la síntesis química en condiciones supercríticas. La implementación de procesos optimizados en la producción de químicos puede reducir significativamente la cantidad de residuos generados y el consumo

de recursos. Por ejemplo, la industria de polímeros puede usar procesos de polimerización más eficientes que reducen los residuos y mejoran la calidad del producto final. Por otro lado, las políticas pueden incentivar a las empresas a adoptar prácticas de producción más sostenibles mediante regulaciones y normas que promuevan la eficiencia de recursos y la minimización de residuos. Esto también puede incluir la promoción de certificaciones ambientales que reconocen a las empresas que implementan prácticas sostenibles.

Reciclaje Avanzado de Materiales Peligrosos; los avances en el reciclaje de materiales peligrosos, como baterías y productos electrónicos, han llevado al desarrollo de métodos más seguros y eficientes para recuperar metales preciosos y reducir la toxicidad de los residuos. Empresas en la industria de reciclaje están adoptando nuevas tecnologías para mejorar la recuperación de metales valiosos y reducir la toxicidad de los residuos electrónicos. Un ejemplo es el uso de tecnologías hidrometalúrgicas para la recuperación de litio y otros metales en baterías usadas. Las políticas pueden incluir regulaciones más estrictas para la gestión de residuos electrónicos y la promoción de prácticas de reciclaje avanzado. Además, se pueden establecer incentivos para las empresas que implementen tecnologías de reciclaje innovadoras.

Mejoras en la Seguridad Química y la Gestión de Riesgos, la investigación en la gestión de riesgos químicos y en la seguridad en el manejo de sustancias peligrosas ha llevado al desarrollo de nuevas metodologías para evaluar y mitigar riesgos. En la industria, empresas químicas y de manufactura están adoptando mejores prácticas de seguridad y gestión de riesgos basadas en los últimos descubrimientos científicos para proteger a los trabajadores y al medio ambiente. Esto incluye el uso de nuevas tecnologías de monitoreo y la implementación de estrategias más efectivas para el manejo de sustancias químicas peligrosas. Las regulaciones pueden actualizarse para reflejar los avances en la seguridad química, exigiendo prácticas de manejo más rigurosas y la implementación de tecnologías de monitoreo avanzadas. Esto puede incluir estándares más estrictos para la capacitación de los empleados y la evaluación de riesgos en sitios industriales.

Sustitución de Productos Químicos Peligrosos; la investigación sobre alternativas más seguras a productos químicos tóxicos, como los solventes orgánicos peligrosos, ha conducido al desarrollo de soluciones menos nocivas como los solventes a base de agua y los agentes de limpieza biodegradables. De acuerdo a la aplicación Industrial, en el rubro de Pinturas y Recubrimientos, por ejemplo, la empresa AkzoNobel ha adoptado solventes a base de agua en lugar de solventes orgánicos volátiles (COV) en sus productos, reduciendo significativamente las emisiones tóxicas y mejorando la seguridad y sostenibilidad de sus productos.

Referencias

- Abt, A. C. (2024). *La evaluación de las tecnologías sanitarias y los Objetivos del Desarrollo Sostenible vinculados al cambio climático*. Universidad Nacional de Quilmes.
- Alonso, J. (2023). ¿Por qué es tan importante el análisis de datos cualitativos? Incentro. <https://www.incentro.com/es-ES/blog/analisis-de-datos-cualitativo>
- Aguiar, D., & Correa, M. (2020). *Evaluación del impacto de la contaminación atmosférica por PM 2.5 sobre la mortalidad de la población en el Valle Aburrá, Antioquia*. Universidad de Antioquia.
- Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., & Guo, W. (2018). Adsorptive Removal of Antibiotics from Water and Wastewater: Progress and Challenges. *Science of the Total Environment*, 602, 425-433.
- Álvarez, E., & Barreda, L. (2020). La estadística descriptiva en la formación investigativa del Instructor de Arte. *Revista Conrado*, 16(73), 100-107.
- Amaya, K. L. A., Rivadeneira, R. O. A., Espino, A. M. E., Chávez, Z. R. M., Cabrera, F. O., & de la Torre, D. Q. (2023). *Tecnología educativa para desarrollar la metodología STEAM*. Mar Caribe.
- Andrade, A., & Manrique, S. (2019). *Sistematización de experiencias práctica de investigación Efectos de la intervención de líderes comunitarios en prevención secundaria de consumo de opiáceos en la "Cooperativa Virgen del Cisne"*. [Tesis maestría, Universidad de Guayaquil].
- Angel, C. (2020). *Orientación política y tecnológica del derecho ambiental para impulsar el desarrollo sostenible de la sociedad en el distrito de Yanacancha-Pasco, 2018* [Tesis de derecho, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
- Aparicio, J. D., Raimondo, E. E., Saez, J. M., Costa-Gutierrez, S. B., Alvarez, A., Benimeli, C. S., & Polti, M. A. (2022). The current approach to soil remediation: a review of physicochemical and biological technologies, and the potential of their strategic combination. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(2), 107141.
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association.
- Apaza, E., Cazorla, S., Condori, C., Arpasi, F., Tumi, I., Yana, W., & Quispe, J. (2022). La Correlación de Pearson o de Spearman en caracteres físicos y textiles de la fibra de alpacas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(3).

- Arellano, A., & Peña, D. (2020). Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable. *Revista Digital Novasinergia*, 3(1), 27-36.
- Arias, J. (2020). *Técnicas e instrumentos de investigación científica*. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. Enfoques consulting eirl.
- Arias, J., & Covinos, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. *Enfoques Consulting EIRL*, 1(1), 66-78.
- Aspen Technology. (2020). *Aspen Plus: Process Simulation for Chemicals*. Aspen Technology Inc.
- Baxter, P., & Jack, S. (2020). Qualitative Case Study Methodology: Study Design and Implementation for Novice Researchers. *The Qualitative Report*, 13(4), 544-559. doi:10.46743/2160-3715/2008.1573
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby, G., Avery, A., & Sheikh, A. (2019). The Case Study Approach. *BMC Medical Research Methodology*, 11(1), 100.
- Bryman, A. (2019). *Social Research Methods*. Oxford University Press.
- Bui, M., Adjiman, C. S., & MacDowell, N. (2018). Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS): Una Revisión. *Energía*, 114, 161-196.
- Boro, R. (2023). *Diseños cuasi-experimentales y longitudinales*. Universidad de Barcelona.
- Carreres, D., García, J., Castillo, L., Carrillo, J., & Viguera, A. (2022). Regresión lineal multivariable versus regresión simbólica a partir de programación genética. Aplicación a la caracterización espectroscópica de aguas residuales urbanas. *Ingeniería del agua*, 26(4), 261-277.
- Ccapa, L. (2022). *Determinación de los niveles de concentración de material particulado en el área de influencia del proyecto Minero Jesús 2004 TRES, distrito de Ananea-2022*. ALCIRA.
- Ccoya, M. (2024). *Evaluación de la calidad del agua superficial de la laguna confinada Bahía De Los Incas Del Lago Titicaca, Puno, 2023*. UPSC.
- Centón, J. (2023). *Evaluación longitudinal de las concentraciones de metales pesados en ecosistemas marinos costeros en zonas con impacto antrópico utilizando Fluorescencia de Rayos X en sedimento marino del litoral de Ilo, Perú*. UNAM.
- Chapra, S. C. (2011). *Surface Water-Quality Modeling*. Waveland Press.

- Contreras, L. (2023). *Evaluación de la Fenología de la vegetación según el índice de vegetación de diferencia normalizada mediante imágenes satelitales en el Distrito De Socos–Ayacucho, 2017 Y 2021*. UNSHC.
- Correa, J. (2021). Coeficiente de Correlación Intraclase: Aplicaciones para estimar la estabilidad temporal de un instrumento de medida. *Ciencias Psicológicas*, 15(2).
- Comsol. (2021). *COMSOL Multiphysics: Simulation Software for Physics-Based Modeling*. COMSOL, Inc.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative Inquiry & Research Design: Choosing Among Five Approaches*. SAGE Publications.
- Creswell, J. W., Hanson, W. E., Clark Plano, V. L., & Morales, A. (2021). Qualitative Research Designs: Selection and Implementation. *The Counseling Psychologist*, 35(2), 236-264. doi:10.1177/0011000006287390
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage Publications.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2021). *Tratamiento de Agua: Principios y Diseño*. Wiley.
- Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista chilena de anestesia*, 43(4), 306-310.
- Dagnino, J. (2015). Inferencia estadística: pruebas de hipótesis. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(2), 125-128.
- De la Mora, M. (2012). *Metodología de la Investigación. Desarrollo de la Inteligencia*. Thomson Learning.
- Delgado, G. (2010). Conceptos y metodología de la investigación histórica. *Revista Cubana de Salud Pública*, 36(1), 9-18
- Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., Sánchez, J., & Sunkel, O. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. CEPAL.
- Echavarría Heras, H., Leal Ramírez, C., Solana Arellano E., Montiel Arzate, E. & Rodríguez Reyes, C. (2023). *Método científico y su aplicación en la investigación ambiental*. Departamento de Ecología Marina, CICESE.
- Emilse, S. (2021). *Uso de herramientas paramétricas para el análisis del comportamiento ambiental de edificios durante la fase de diseño* [Tesis de maestría, Universidad de Sevilla].

- EPA. (2019). *Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*. Environmental Protection Agency.
- Farinango Aules, D. M., & Tenelema Toapanta, E. G. (2024). *Estado del arte de la nanotecnología relacionado al medio ambiente y la sostenibilidad* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Validez Estructurada para una investigación cuasi-experimental de calidad: se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasi-experimentales. *Anales de Psicología*, 30(2), 756-771. <https://dx.doi.org/10.6018/analesps.30.2.166911>
- Field, A. (2019). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. Sage Publications.
- Flores, E., & Medrano, A. (2019). Núcleo básico en el análisis de datos cualitativos: pasos, técnicas de identificación de temas y formas de presentación de resultados. *Interdisciplinaria*, 36(2), 203-215. <http://dx.doi.org/10.16888/interd.2019.36.2.13>
- Gallego, A. & González, R. (2017). Metodología De La Investigación En Ingeniería. *Revista científica*, (29), 115.
- Gamage, G. A. T., & Smits, K. M. (2019). Recent Advances in Environmental Engineering Research: A Review. *Environmental Science & Technology Letters*, 6(7), 380-389.
- Garay, R. & Carcamo, P. (2014). *Manual de investigación ambiental*. Universidad de Celaya.
- García, C., Cano, M., Vega, F., Louise, S., Vilches, L. & Leiva, C. (2014). Nueva metodología de aprendizaje autónomo aplicada a una práctica de Ingeniería Química mediante técnicas de investigación-acción. *Revista de innovación educativa*, (13), 97-103.
- García, J., Rodríguez, A., & Martínez, C. (2019). *Tecnologías Avanzadas en el Tratamiento de Aguas Residuales*. Editorial Alfaomega.
- García, P., Fernández, A., & López, J. (2021). Combinación de Lodos Activados y Biorreactores de Membrana para el Tratamiento de Aguas Residuales. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 34(3), 234-245.
- Gómez, A., Sánchez, P., & Ortega, J. (2023). Optimización de la Gestión de Recursos Naturales a Través del Análisis de Big Data. *Revista de Gestión Ambiental y Políticas Públicas*, 45(1), 76-89.

- Gómez, I., Pérez, J., & Ortega, M. (2023). Integración de Datos de Sensores y Modelos Predictivos para la Gestión Ambiental. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales*, 40(2), 205-220.
- González, A., Hernández, P., & Torres, R. (2019). *Enfoques Interdisciplinarios en la Remediación Ambiental*. Editorial Universitaria.
- González, A. (2004). *La preocupación por la calidad del medio ambiente: un modelo cognitivo sobre la conducta ecológica* [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid].
- González, N. (2007). *Desarrollo de la investigación*. Universidad Rovira I Virgil.
- Guevara, M., Petetin, H., Garatachea, R., López, F., Oliveira, K., Enciso, S., Jorba, O., Pérez C., & García, P. (2022). *Actividades de modelización de emisiones y calidad del aire enfocadas al diseño de recomendaciones preliminares para la mitigación del ozono en España*. Earth Sciences Department.
- Gutiérrez, R. S., & García, A. (2023). *Diseño cuasiexperimental en la investigación ambiental*. Universidad César Vallejo.
- Gutiérrez, O. (2021). *Uso de materiales ecológicos*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Centro de Gestión de Investigación y Extensión-CEDEC
- Gupta, P., & Christopher, S. A. (2020). Seven-Year Particulate Matter Air Quality Assessment from Surface and Satellite Measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(9), 4967-4980.
- Guttman, L., & Sainani, K. (2017). *Statistics for the Environment: Advanced Statistical Techniques for Environmental Science*. *Journal of Environmental Statistics*, 9(1), 24-35.
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2019). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling*. SAGE Publications.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Babin, B. J., & Black, W. C. (2019). *Multivariate data analysis*. Cengage Learning.
- He, J., Liu, X., & Wei, Z. (2020). Aplicación de Zeolitas y Adsorbentes Basados en Carbono en el Tratamiento de Aguas Residuales. *Revista de Gestión Ambiental*, 273.
- Herrera Rodríguez, J. I., Guevara Fernández, G. E., & Munster de la Rosa, H. (2015). Los diseños y estrategias para los estudios cualitativos. Un acercamiento teórico-metodológico. *Gaceta Médica Espirituana*, 17(2), 120-134.

- Holguín, C. (2022). *Gestión de tráfico vehicular y calidad del aire del Centro Histórico de Cusco, 2021* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
- ISO. (2020). *ISO 5667-1: Water Quality—Sampling—Part 1: Guidance on the Design of Sampling Programmes and Sampling Techniques*. International Organization for Standardization.
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal Component Analysis: A Review and Recent Developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065).
- Jones, B., & Nachtsheim, C. J. (2017). A Class of Three-Level Designs for Definitive Screening in the Presence of Second-Order Effects. *Journal of Quality Technology*, 49(1), 1-13. doi:10.1080/00224065.2017.11917974
- Karmperis, A. C., Aravossis, K. G., & Tatsiopoulos, I. P. (2017). Waste Collection Systems: The Strategic Role of Models. *Waste Management & Research*, 35(12), 1224-1233. doi:10.1177/0734242X17738974
- Kaya, E., Agca, M., Adiguzel, F., & Cetin, M. (2019). Spatial data analysis with R programming for environment. *Human and ecological risk assessment: An International Journal*, 25(6), 1521-1530.
- Klemeš, J. J., Fan, Y. V., & Jiang, P. (2020). The Energy and Environmental Footprint of COVID-19 Fighting Measures – PPE, Disinfection, Supply Chains. *Energy*, 211.
- Kumar, V., Pandey, A., & Pandey, A. K. (2020). Application of Response Surface Methodology for Optimization of Biorremediation Processes. *Bioremediation Journal*, 24(2), 89-102.
- Lee, K., Jeong, H., & Park, S. (2021). Real-Time Monitoring of Air Quality Using Advanced Sensor Technologies. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 193(2), 73.
- Li, Z., Zhang, J., & Cai, Y. (2019). Stochastic Modeling of Water Quality in Rivers Contaminated by Industrial Discharges. *Journal of Environmental Management*, 236.
- Litter, M. I. (2022). *Últimos avances en tecnologías de base fotoquímica aplicadas a eliminación de contaminantes en agua*. Asociación Química Argentina.
- Liang, X., Zheng, X., & Li, S. (2021). *Innovaciones en Sensores Remotos para la Monitorización Ambiental*. Editorial Springer.

- Loayza Pérez, Jorge, & Silva Meza, Vicky (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Industrial Data*, 16(1),108-117.
- López, C, Menéndez, C., & Cheikh, F. (2016). *Métodos experimentales para el tratamiento de aguas residuales*. IWA.
- López, M., Pérez, R., & Fernández, M. (2021). Avances en Tecnologías de Control de Emisiones Atmosféricas. *Revista de Contaminación del Aire*, 28(1), 98-112.
- Massolo, L. A. (2015). *Introducción a las herramientas de gestión ambiental*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Marin, L., Hernandez, M. y Florez, Q. (2016). Metodología para el análisis de datos cualitativos en investigaciones orientadas al aprovechamiento de fuentes renovables de energía. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias*, 1(1), 60-75.
- Martinez, A. (2023). *Remoción de manganeso empleando el método de reducción alcalinización en pruebas a nivel de laboratorio en aguas contaminadas por las actividades mineras de la Región Pasco* [Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
- Martínez, J., Gómez, R., & López, A. (2022). Avances en Redes de Sensores para el Monitoreo de la Calidad del Agua y del Aire. *Revista de Tecnología Ambiental*, 31(1), 75-90.
- Martínez, J., Rodríguez, A., & Fernández, M. (2021). Sinergias en la Gestión Ambiental: Integración de Disciplina para Soluciones Sostenibles. *Revista de Ciencias Ambientales*, 30(2), 213-225.
- Martínez Sepúlveda, J. A., Sánchez Yáñez, J. M., Volke Sepúlveda, T., Vallejo Quintero, V. E., Pérez Junco, L. M., Duarte Bautista, P. A., & Reinaldo Casallas, M. (2021). *Remediación de suelos contaminados: fundamentos y casos de estudio*. Universidad EAN.
- MathWorks. (2019). *MATLAB and Simulink for Technical Computing*. The Math-Works, Inc.
- Maya, E. (2014). *Métodos y técnicas de investigación: una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines*. UNAM.

- Mayorga, R., Graciano, D., Hernández, A., Moctezuma, P., Pérez, B., & Roldán, A. (2022). Cuadro comparativo de Análisis Paramétrico y No Paramétrico. *Educación Y Salud Boletín Científico Instituto De Ciencias De La Salud Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo*, 10(20), 90-93. <https://doi.org/10.29057/icsa.v10i20.9143>
- Mendez, R., & Urquia, A. (2023). *Evaluación de la contaminación y calidad del aire por material particulado vinculado a las variables meteorológicas en Lima Metropolitana entre 2017-2020* [Tesis de ingeniería, Universidad César Vallejo].
- Mengyuan, Z., Wang, J., Xiao, Y., Zhang, Yu, Z., Lin, Z., Ren, H., Bing, W., & Lin, Y. (2022). A review of the application of machine learning in water quality evaluation. *Eco-Environment & Health*, 1(2), 107-116.
- Moler, C. (2020). *Numerical Computing with MATLAB*. MathWorks, Inc.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons.
- Morales, R., Fernández, A., & Torres, M. (2021). Avances en el Uso de Aprendizaje Automático para el Análisis de Datos Ambientales. *Revista de Análisis de Datos Ambientales*, 22(3), 189-202.
- Morales, P., & Rodríguez, L. (2016). Aplicación de los coeficientes correlación de Kendall y Spearman. *Agrollanía*, 13.
- Morell, L. (2023). ANOVA cálculo manual [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=UmdJZ7YlVzA&t=1s>
- Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Universidad SurColombiana.
- Moreno, G. (2011). *Análisis e interpretación de datos cualitativos*. Universidad de la República.
- Morgan, D. L., & Hoffman, K. (2020). *Focus Groups as Qualitative Research*. SAGE Publications.
- Moussavi, G., & Mahmoudi, N. (2009). *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales: Técnicas y Aplicaciones*. Editorial Reverte.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). *New Directions for Chemical Engineering*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26342>.

- Navas, M. F., Postigo-Fuentes, A. Y., Granados, L. P., & Salarirche, N. A. (2022). Cómo hacer investigación cualitativa en el área de tecnología educativa. *RiiTE Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 93-116.
- Nemer, M. (2021). *Huella de carbono de un sistema conceptual de generación de electricidad a partir de biomasa con captura y almacenamiento de carbono* [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
- NRC (2017). *Environmental Cleanup at Navy Facilities: Risk-Based Approaches*. National Research Council. National Academies Press.
- Ortega, C. (2018). Análisis de datos de una investigación cualitativa. Question pro. <https://lc.cx/KR0014>
- Ott, R. L., & Longnecker, M. (2016). *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis* Cengage Learning.
- Pendón, M., Williams, A., Cibeira, N., Couselo, R., Crespi, G., & Tittonel, M. (2017). *Energía renovable en Argentina: cambio de paradigma y oportunidades para su desarrollo*. UNLP.
- Perdigón, R., & Pérez, M. (2022). Herramientas de código abierto para el análisis estadístico en investigaciones científicas. *Academia de Ciencias de Cuba*, 12(3), 1-10.
- Pérez, L., Gómez, I., & Soto, A. (2022). Educación Interdisciplinaria en Ingeniería Química Ambiental: Un Enfoque Integral. *Revista de Educación y Capacitación Profesional*, 28(1), 45-58.
- Perez, J. (2019). *Memoria ambiental: una aproximación desde la historia ambiental para la reconstrucción de las prácticas agro – mineras en Boyacá y su relación con la enseñanza de las Ciencias Sociales* [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica Nacional].
- Perico, N., Galarza, E., Diaz, M., Arevalo, H., & Perico, N. (2020). *Guía Práctica de Investigación en Ingeniería: Apoyo a la formación de docentes y universitarios*. Unminuto.
- Pinilla, J., & Rico, A. (2021). ¿Pearson y Spearman, coeficientes intercambiables? *Comunicaciones en Estadística*, 14(1), 53-63.
- Ponce, R., Ventura, D., Hernández, A., Jiménez, P., Galindo, B., & Carpio, A. (2022). Cuadro comparativo de análisis paramétrico y no paramétrico. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 10(20), 90-93.

- Quevedo, F. (2011). Estimación de parámetros. *Medwave*, 11(06). <https://doi.org/10.5867/medwave.2011.06.5053>
- Quiroga, V. (2018). *Metodología de la Investigación en Química: Guía Teórico y Práctico*. Editorial Científica Universitaria. Universidad Nacional de Catamarca.
- Ramirez, J. L., & Callegas, P. H. (2020). *Investigación y educación superior*. Lulu.com
- Reckhow, K. H., Qian, S. S., & Harmel, R. D. (2019). A New Generation of Water Quality Models for TMDL Development and Implementation. *Environmental Modelling & Software*, 120.
- Reyes, L., & Villanueva, C. (2021). *Diseño de una propuesta ambiental para la fitoextracción de metales pesados utilizando el género amaranthus sp. para la restauración de suelos contaminados por la Minera Quiruvilca SA–La Libertad 2020* [Tesis de ingeniería, Universidad Privada del Norte].
- Reyes, W. (2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma – AQUAFIL* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Ricardo, M., & Rubio, C. (2020). *Estadística con aplicaciones en R*. Editorial Ta-deo
- Rodríguez, F., Martínez, A., & Núñez, J. (2024). Evaluación del Impacto de Políticas Ambientales mediante Tecnologías de Monitoreo en Tiempo Real. *Revista de Políticas Ambientales*, 19(3), 317-330.
- Rodríguez, L., Martínez, J., & González, I. (2022). Predicción de Eventos Ambientales Extremos Mediante Técnicas de Aprendizaje Automático. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales y Tecnología*, 33(2), 142-155.
- Rodríguez, C., Oré, J., & Vargas, D. (2021). *Las variables en la metodología de la investigación científica*. 3Ciencias.
- Roulston, K. (2021). *Interviewing: A Guide to Theory and Practice*. SAGE Publications.
- Rubio-Aliaga, I., Zimmermann, M. B., & Braga-Lagache, S. (2019). Advances in Experimental Design for Nutritional Research. *Nutrients*, 11(5), 1028. doi:10.3390/nu11051028

- Ruiz, M. (2021). *Estadística descriptiva* [Tesis de maestría, Universidad Salazar Virtual].
- Tapia, C., & Cevallos, K. (2023). Pruebas de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov y Ji-cuadrada aplicadas a la toma de decisiones empresariales. *Yachana Revista Científica*, 12(2), 113-127.
- Teran, J. (2022). *Aprovechamiento de pañales descartables utilizados como fuente de Reserva Hídrica en plantaciones forestales de quinual en el Valle Del Mantaro*. UNSCH.
- Tufte, E. R. (2021). *The visual display of quantitative information*. Graphics Press.
- Saldívar, S., Cabrera, J., & Reta, M. (2017). Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(12), 22-34.
- Sánchez Flores, F. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1), 102-122. <https://dx.doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Sánchez, A., & Murillo, A. (2021). Enfoques metodológicos en la investigación histórica: cuantitativa, cualitativa y comparativa. *Debates por la Historia*, 9(2), 147-181.
- Sánchez, R. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista mexicana de cardiología*, 26(1), 59-61.
- Sánchez, M., García, A., & Fernández, J. (2022). Integrated Sampling Techniques for Comprehensive Environmental Monitoring. *Environmental Science & Technology*, 56(6), 3456-3466.
- Sánchez, O., Cardona, C., & Sánchez, D. (2012). Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: Una aproximación cualitativa. *Revista Universidad EAFIT*, 43(146), 59-79.
- Santos, A., Oliveira, A., & Martins, F. (2021). Nanotecnología en el Tratamiento de Agua y Aguas Residuales: Avances y Direcciones Futuras. *Revista de Ciencia Ambiental y Nano*, 8(2), 335-352.
- Seo-Capybara. (2023, 19 de diciembre). Importancia de la Química en la Ingeniería Ambiental. Blog Autónoma. <https://www.autonoma.pe/blog/importancia-quimica-ingenieria-ambiental/>

- Sillanpää, M., Nyström, M., & K. (2020). Procesos de Oxidación Avanzada para la Degradación de Contaminantes Emergentes: Una Revisión. *Revista de Materiales Peligrosos*, 399.
- Singh, V. P., Frevert, D. K., & Madsen, H. (2020). Hydrologic Modeling: Progress and Future Directions. *Water Resources Research*, 56(5).
- Smith, R., & Peters, M. (2020). Enhancing Chemical Engineering Education with Advanced Simulation Tools. *Chemical Engineering Education*, 54(2), 76-85.
- Soto, E., Del C Miranda, R., Sosa, C. A., & Loredó, J. A. (2006). Optimización del Proceso de Remoción de Metales Pesados de Agua Residual de la Industria Galvánica por Precipitación Química. *Información tecnológica*, 17(2), 33-42.
- Strauss A., & Corbin, J. (2012). *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Editorial Universidad de Antioquia
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Y. (2020). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento y Recuperación de Recursos*. McGraw-Hill Educación.
- Valverde, J. (2024). *Educación Ambiental y el Manejo de los Residuos Sólidos de la Institución Educativa Pública Secundaria José María Arguedas del distrito de Chuquibambilla—Provincia de Grau—Apurímac 2023* [Tesis de ingeniería, Universidad Tecnológica de los Andes].
- Vega, J., López, C., & Morales, R. (2023). Integración de Prácticas Profesionales en la Formación Académica en Ingeniería Ambiental. *Revista Internacional de Ingeniería y Educación*, 32(3), 321-334.
- Villada, D. & Beltrán, O. (2020). *Elementos de estadística descriptiva y probabilidad*. Universidad Piloto de Colombia.
- Wang, J., Li, Y., & Huang, G. (2019). Modeling Contaminant Transport in Groundwater Using COMSOL Multiphysics. *Environmental Earth Sciences*, 78(5), 134.
- Wang, J., Zhang, L., & Liu, W. (2019). *Aplicaciones de Big Data en la Investigación Ambiental*. Editorial Elsevier.
- Warner, R. M. (2020). *Applied statistics: From bivariate through multivariate techniques*. Guilford Press.

- Wold, S., Esbensen, K., & Geladi, P. (2020). Principal Component Analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2(1-3), 37-52.
- Yadav, A., Kumar, V., & Kumar, P. (2020). Emerging Trends in Chemical Engineering Research: Environmental Perspectives. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5).
- Yiqiang, H., Chuanxun, Ji, Y., Yanyan, L., Wenlong, J., & Sijing, S. (2021). Review on unmanned aerial vehicle remote sensing and its application in coastal ecological environment monitoring. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 821.
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. Sage Publications.
- Yuni, J. A., y Urbano, C. A. (2003). *Técnicas para investigar y formular proyectos de investigación*. Editorial Brujas.
- Zaman, A., Khan, S., & Ali, S. (2020). *Capacitación y Educación en Ingeniería Ambiental: Nuevas Tendencias*. Editorial Eco.
- Zhou, S., Zhang, H., & Zhang, Y. (2020). Avances Recientes en Tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono: Una Revisión. *Revista de Producción Limpia*, 242, 118470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118470>
- Zou, B., Wang, H., & Peng, Q. (2019). Application of Partial Least Squares Regression in Environmental Studies. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11), 673. doi:10.1007/s10661-019-7842-3
- Zúñiga, P. I. V., Cedeño, R. J. C., & Palacios, I. A. M. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723-9762.



Religación
Press
Ideas desde el Sur Global



ISBN: 978-9942-561-05-3



9 789942 561053