FILOSOFÍA Y **EPISTEMOLOGÍA: Para el biólogo del Siglo XXI**



José Estanislao Cerna Montoya
Luis Fernando Torres Cabrera
Yosef Javier Avalos Ramírez

FILOSOFÍA Y EPISTEMOLOGÍA: para el biólogo del siglo XXI

FILOSOFÍA Y EPISTEMOLOGÍA: Para el biólogo del siglo XXI

Copyright © 2026 Autores

José Estanislao Cerna Montoya
Luis Fernando Torres Cabrera
Yosef Javier Avalos Ramírez

Corrector idiomático: Dr. Hermes Arnaldo Lozano Luján

Diseño de cubierta: Omniscens

Diseño interior: Omniscens

Primera edición: 2026

ISBN: 978-970-95661-2-3

DOI: https://doi.org/10.71112/jn0dfz69

Sello editorial: Omniscens Publishing (97897096928)

Categoría: Investigación

Tipo de Contenido: Libros Universitarios

Lugar de publicación: Mérida, Yucatán, México

Esta obra fue dictaminada positivamente por revisión par doble ciego externo, a solicitud del Comité Editorial; está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



Omnicens Publishing
www.publishing.omniscens.com



Índice

Prólogo.....7
Introducción General.....9
Capítulo 1 Filosofía, ciencia y mito en el contexto acuícola 13
Filosofía, ciencia y mito en el contexto acuícola.....15
1.1. El saber mítico-religioso vs. el saber filosófico-racional: el caso de las creencias populares sobre la reproducción de peces..... 16
1.2. Características del pensamiento filosófico y su distinción del pensamiento científico..... 21
1.3. La biología como campo de demarcación entre magia técnica y ciencia experimental..... 25
Resumen..... 29
Referencias bibliográficas.....31
Capítulo 2 La cosmovisión clásica y la escolástica: primeros sistemas de clasificación del mundo natural **37**
La cosmovisión clásica y la escolástica: primeros sistemas de clasificación del mundo natural..... 38
2.1. De la physis griega al concepto de naturaleza en Aristóteles: implicaciones para la zoología acuática..... 39
2.2. El pensamiento escolástico medieval y la sistematización del conocimiento sobre organismos acuáticos..... 42
2.3. Aportes fundamentales al método de observación sistemática en biología..... 47
Resumen..... 50
Referencias bibliográficas.....53
CAPÍTULO 3 La revolución gnoseológica moderna: racionalidad y experimentación **57**
3.1. El empirismo de Bacon y la observación inductiva en biología marina 60
3.2. El racionalismo cartesiano y el modelo mecanicista del organismo acuático..... 63
3.3. El positivismo de Comte y la configuración de la biología como ciencia factual..... 67
3.4. La crítica popperiana al inductivismo y el falsacionismo en la investigación acuícola..... 70
Resumen..... 74
Referencias Bibliográficas..... 77

Capítulo 4 Métodos filosóficos aplicados a la biología acuícola **83**
Métodos filosóficos aplicados a la biología acuícola..... 83
4.1. El método inductivo, deductivo y dialéctico en la formulación de hipótesis experimentales..... 86
4.2. Reconocimiento de falacias lógicas en la interpretación de datos biológicos..... 90
4.3. Análisis y síntesis en la elaboración de protocolos de investigación..... 95
Resumen..... 100
Referencias Bibliográficas..... 102
Capítulo 5 Epistemología, Paradigmas y Racionalidad Científica En La Biología Marina **107**
Epistemología, paradigmas y racionalidad científica en la biología marina... 107
5.1. El conocimiento común, empírico y científico: límites y alcances en la práctica acuícola..... 110
5.2. La naturaleza del conocimiento biológico: leyes, teorías y modelos explicativos..... 115
5.3. El problema de la demarcación entre ciencia y pseudociencia en el sector acuícola..... 119
Referencias bibliográficas..... 124
Capítulo 6 El método científico en biología: entre el falsacionismo y los programas de investigación **129**
El método científico en biología: entre el falsacionismo y los programas de investigación..... 129
6.1. El falsacionismo de Popper y el diseño experimental en biología acuática..... 131
6.2. Los programas de investigación de Lakatos y la continuidad teórica en la biología peruana..... 135
6.3. La "carga teórica" de los hechos observacionales en el comportamiento animal..... 140
Resumen..... 145
Referencias Bibliográficas..... 147
Capítulo 7 Paradigmas científicos y revoluciones conceptuales (Thomas Kuhn aplicado a la biología) **149**
Paradigmas científicos y revoluciones conceptuales (Thomas Kuhn aplicado a la biología)..... 149
7.1. Estructura de los paradigmas biológicos marinos..... 153
7.2. Del fijismo al evolucionismo: revolución paradigmática y su impacto en el manejo de stock pesquero..... 155

7.3. De la pesca extractiva a la biología sostenible: cambio de matriz científica y tecnológica 160
Resumen..... 165
Referencias Bibliográficas..... 168
Capítulo 8 Verdad, objetividad y subjetividad en la observación biológica **173**
Verdad, objetividad y subjetividad en la observación biológica..... 173
8.1. El problema de la objetividad total en la observación del comportamiento de peces y crustáceos..... 176
8.2. El relativismo y el dogmatismo epistemológico: riesgos en la interpretación de datos acuícolas..... 179
8.3. El pensamiento crítico reflexivo como actitud filosófica del investigador acuícola..... 184
Resumen..... 187
Referencias Bibliográficas..... 189
Parte III: Axiología, Ética Y Responsabilidad Social En La Biología **191**
Axiología, ética y responsabilidad social en la biología..... 191
Capítulo 9 Fundamentos éticos para el biólogo **193**
Fundamentos éticos para el biólogo..... 193
9.1. La relación entre ética y ciencia: de la neutralidad axiológica a la responsabilidad del conocimiento..... 196
9.2. Ética deontológica, utilitarista y ética de la virtud aplicadas a la investigación biológica..... 199
9.3. Principios de la ética profesional del biólogo en contextos acuícolas 203
Resumen..... 208
Referencias Bibliográficas..... 210
Capítulo 10 Bioética en la biología: bienestar animal y experimentación científica **215**
Bioética en la biología: bienestar animal y experimentación científica..... 215

10.1. Fundamentos de la bioética en organismos acuáticos (peces, crustáceos, moluscos)..... 218
10.2. Principios de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia en la experimentación animal acuática..... 221
10.3. Las 3Rs (Sustitución, Reducción, Refinamiento) en el laboratorio de biología marina..... 224
10.4. Dilemas morales en la manipulación genética y el manejo de especies exóticas..... 227
Resumen..... 230
Referencias Bibliográficas..... 232
Capítulo 11 Ética ambiental y justicia ecológica en la industria acuícola **235**
Ética ambiental y justicia ecológica en la industria acuícola..... 235
11.1. Antropocentrismo vs. ecocentrismo: fundamentos filosóficos del manejo de sistemas acuícolas..... 237
11.2. Ética ambiental aplicada a la sostenibilidad de la biología..... 239
11.3. Justicia ambiental y conflictos socio-ambientales de la biología en el Perú..... 242
Resumen..... 245
Referencias..... 247
Capítulo 12 Responsabilidad Social Universitaria y el compromiso ético del científico acuícola **251**
Responsabilidad Social Universitaria y el compromiso ético del científico acuícola..... 251
12.1. La RSU como extensión de la ética profesional: prevención, promoción y difusión..... 254
12.2. Comunicación científica y divulgación filosófica en redes sociales: hacia ciudades ecológicas sostenibles..... 257
12.3. El artículo de revisión como acto de responsabilidad epistémica y social..... 261
Resumen..... 265
Referencias Bibliográficas..... 267
Información de los autores..... 271

Prólogo

En el umbral del tercer milenio, la biología se erige como una de las fronteras más dinámicas de la biología aplicada, confrontándose no solo con imperativos técnicos de productividad, sino con interrogantes de profunda calidad epistemológica y existencial. El biólogo contemporáneo opera en un territorio epistémico híbrido, donde la manipulación de variables físico-químicas converge con decisiones de consecuencia ontológica: comprobar qué constituye un organismo en cultivo, cómo se legitima el conocimiento sobre sus necesidades biológicas, y cuál es el alcance moral de nuestra intervención sobre sistemas vivos acuáticos. Frente a esta complejidad, la formación técnica resulta insuficiente; se requiere una fundamentación filosófica que permita navegar críticamente entre el empirismo descriptivo y la reflexión normativa.

Este texto constituye una invitación a trascender el rol meramente operativo del científico acuícola para asumir una identidad de epistemólogo práctico. A lo largo de estas páginas, el lector recorrerá la arqueología del pensamiento biológico, desde la physis aristotélica hasta los programas de investigación lakatosianos, reconociendo que cada práctica experimental —ya sea el diseño de dietas para Oreochromis niloticus o el monitoreo de bienestar en crustáceos— está mediada por presupuestos filosóficos sobre la naturaleza, la causalidad y la verdad. La obra problematiza la transición desde el saber mítico-religioso hacia el logos científico, evidenciando que el biólogo del siglo XXI debe ser capaz de demarcar críticamente entre ciencia y pseudociencia, reconocer la carga teórica de sus observaciones, y gestionar la tensión inevitable entre objetividad y subjetividad en la interpretación del comportamiento animal.

Particularmente relevante resulta la articulación entre epistemología y axiología presente en la última sección. La biología ya no puede entenderse como una actividad tecno-productiva neutral; implica responsabilidades éticas respecto al bienestar de organismos sentientes, a la justicia ecológica de comunidades ribereñas y a la sostenibilidad intergeneracional de ecosistemas acuáticos. El biólogo se configura aquí como agente moral cuyas

decisiones metodológicas —desde la elección de indicadores fisiológicos hasta la divulgación de resultados— repercuten en configuraciones socio-ecológicas concretas.

En un contexto de crisis climática y transformación paradigmática hacia sistemas socio-ecológicos complejos, este manuscrito ofrece al profesional acuícola herramientas conceptuales para ejercer un pensamiento crítico reflexivo. Comprender la estructura de los paradigmas científicos, reconocer las falacias lógicas en la interpretación de datos, o asumir la responsabilidad social universitaria, no son complementos opcionales sino competencias fundamentales para quien aspira a contribuir genuinamente a la seguridad alimentaria global sin comprometer la integridad biológica ni ética.

Este libro es, en definitiva, un llamado a la madurez intelectual del biólogo: aquella que le permite moverse con soltura entre el laboratorio y el estanque, entre el análisis molecular y la reflexión filosófica, entre la eficiencia productiva y el imperativo categórico de la dignidad humana y no humana. La biología necesita científicos que no solo sepan cómo cultivar, sino que comprendan por qué y para qué lo hacen. Esta obra ilumina ese camino.

Huaraz, 13 De octubre de 2026

Dr. José Yovera Saldarriaga
Ex director de la dirección de investigación
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

Introducción General
Del Saber Mítico Al Pensamiento Complejo En La Relación Humano-Organismos Acuáticos

La relación epistemológica entre los seres humanos y los organismos acuáticos halla sus raíces en la constitución misma del pensamiento occidental, donde la anamnesis platónica opera como mecanismo de transición entre el saber mítico primordial y el logos filosófico. En este sentido, la doctrina de la reminiscencia no constituye pura especulación metafísica, sino que representa una estrategia epistemológica orientada a superar la aporía menónica mediante la recuperación de verdades latentes sobre el mundo natural. La memoria colectiva arcaica, manifestada en cosmogonías acuáticas y figuras mitológicas como Tiamat o las sirenas, encarnaba una modalidad de conocimiento donde la distinción entre lo humano y lo acuático permanecía en estado de indeterminación ontológica. Dicha indeterminación, analizada desde la epistemología comparada, evidencia que el saber precientífico sobre los organismos acuáticos se estructuraba mediante categorías simbólicas donde la alteridad marina funcionaba como espejo del propio destino humano. Demir (2025) expone cómo esta transición anamnésica implica necesariamente una transformación soteriológica: el conocimiento del medio acuático deviene acto de liberación cognitiva mediante el cual el alma recupera su vínculo primordial con las formas universales. La evolución histórica del pensamiento sobre la vida acuática ilustra, pues, un proceso de secularización epistemológica donde lo divino acuático gradualmente cede terreno a lo natural, si bien manteniendo estructuras hermenéuticas heredadas del imaginario mítico fundacional.

La constitución de la ictiología como disciplina científica durante los siglos XVI y XVII ejemplifica la transición epistemológica del monstrum al organismus, proceso central en la historia de la biología marina. Durante este período, naturalistas como Aldrovandi, Belon y Gesner operaron en un territorio epistemológico liminal donde la taxonomía aristotélica convivía

con relatos de criaturas marinas fabulosas, generando tensión entre el impulso clasificatorio y la persistencia del maravilloso premoderno. Brito (2016) analiza minuciosamente cómo los bestiarios medievales y los tratados renacentistas de Historia Natural incorporaban simultáneamente observaciones empíricas y narrativas míticas, configurando una epistemología híbrida caracterizada por la porosidad entre fábula y hecho observacional. La categoría del "monstruoso" funcionaba epistemológicamente como concepto fronterizo que permitía articular la emergencia de lo desconocido bajo parámetros comprensibles para la racionalidad de la época. Este período histórico evidencia la lenta gestación de una mirada científica sobre los organismos acuáticos, donde la acumulación de prácticas observacionales en contextos de navegación y exploración colonial gradualmente transformó el estatus ontológico de los seres marinos. La transición del saber mítico al paradigma naturalista no implicó una ruptura abrupta, sino un proceso de reelaboración dialéctica donde los "monstruos marinos" evolucionaron taxonómicamente hacia especímenes zoológicos susceptibles de descripción anatómica y clasificación sistemática.

El problema epistemológico contemporáneo respecto a la atribución de sentiencia y consciencia a los organismos acuáticos constituye uno de los desafíos más apremiantes para la filosofía de la biología aplicada a la biología. La atribución de estados mentales a peces e invertebrados marinos presenta una situación de subdeterminación teórica característica, donde los datos neurobiológicos y conductuales admiten múltiples interpretaciones incompatibles desde perspectivas epistemológicas foundationalistas. Duran-Le Peuch (2022) examina rigurosamente cómo la investigación científica sobre la sentiencia piscícola enfrenta paradojas epistemológicas inherentes: la imposibilidad de acceso directo a la dimensión fenomenológica del dolor en organismos no humanos genera un círculo hermenéutico donde los presupuestos teóricos determinan las conclusiones empíricas. Esta problemática evidencia la necesidad de adoptar epistemologías coherentistas que operen mediante iteración epistémica, permitiendo la convergencia progresiva de hipótesis rivales sobre la base de la robustez explicativa y la fecundidad heurística. La

controversia contemporánea sobre la capacidad de los peces para experimentar estados afectivos negativos ilustra cómo los compromisos éticos preanalíticos infiltran la práctica científica, configurando lo que Kuhn identificaría como elementos constitutivos del paradigma. La resolución de esta aporía epistemológica resulta ineludible para el desarrollo de una biología genuinamente sostenible, dado que la consideración moral de los organismos acuáticos depende críticamente de la atribución epistémica de estados subjetivos.

La superación del paradigma reduccionista en la biología acuática requiere la adopción de un marco epistemológico complejo capaz de articular la multiplicidad de niveles organizativos inherentes a los sistemas acuáticos. El pensamiento complejo desarrollado por Morin ofrece las herramientas conceptuales necesarias para trascender la fragmentación disciplinar característica de los enfoques tradicionales, proponiendo una epistemología que integre lo físico, lo biológico y lo antropológico en un mismo tejido explicativo. Umpleby y Thomas (2018) desarrollan una interpretación biosemiótica de esta epistemología moriniana, evidenciando cómo la comunicación constituye propiedad universal de la vida que trasciende la especificidad humana, imbricando a los organismos acuáticos en redes de significación semiótica. Desde esta perspectiva, el organismo acuático no opera como objeto pasivo de conocimiento, sino como sujeto epistémico dotado de umwelt propio; es decir, de un mundo perceptual específico que condiciona sus interacciones ecológicas. La concepción moriniana del computo extiende la noción cartesiana de cogito más allá de la especie humana, reconociendo dimensiones cognitivas en todos los sistemas vivos organizados. Esta ampliación epistemológica resulta fundamental para comprender la biología no como mera producción biotecnológica, sino como sistema complejo donde interactúan semióticamente múltiples agentes: microorganismos, macroalgas, peces, humanos y estructuras tecnológicas conforman polirredes comunicacionales de extraordinaria densidad ontológica.

La operacionalización práctica de estas epistemologías complejas en el ámbito de la biología exige la implementación de

marcos analíticos capaces de diagnosticar las interacciones multiescala entre componentes sociales y ecológicos. El marco de sistemas socio-ecológicos desarrollado por Ostrom y adaptado específicamente para la biología de estanques proporciona una arquitectura conceptual que permite superar las limitaciones de los enfoques meramente reduccionistas o gestionarios convencionales. Partelow et al. (2018) demuestran cómo la aplicación de este marco epistemológico en sistemas acuícolas de pequeña escala revela la emergencia de propiedades sistémicas irreducibles a la suma de sus componentes individuales, evidenciando retroalimentaciones críticas entre gobernanza institucional, dinámicas ecológicas y prácticas productivas locales. La complejidad inherente a estos sistemas acuáticos gestionados demanda metodologías mixtas que articulen variables biofísicas con dimensiones socioculturales, económicas y normativas. Dicha articulación epistemológica permite identificar puntos de apalancamiento para transformaciones hacia sostenibilidad, comprendiendo que los cambios en prácticas acuícolas implican necesariamente reconfiguraciones en sistemas de conocimiento local, estructuras de poder y tecnologías de cuidado. El abordaje socio-ecológico trasciende la dicotomía artificial entre naturaleza y sociedad, revelando la constitución híbrida de los espacios acuícolas contemporáneos donde la producción de organismos acuáticos resulta inseparable de la producción de contextos sociales específicos.

La convergencia entre avances epistemológicos e imperativos éticos configura el horizonte actual de la filosofía aplicada a la biología sostenible, demandando una integración rigurosa entre teoría del conocimiento, práctica productiva y responsabilidad moral. La expansión industrial de la biología global ha generado tensiones insostenibles entre eficiencia productiva, bienestar animal y justicia ambiental, tensiones que requieren marcos éticos capaces de operar en contextos de incertidumbre epistemológica y complejidad radical. Ciliberti, Alfano y Petralia (2024) argumentan que la adopción de valores éticos en la industria acuícola constituye imperativo categórico para garantizar la viabilidad futura del sector, proponiendo una aproximación multidimensional que articule estándares de bienestar, políticas ambientales y

Capítulo 1
Filosofía, ciencia y mito en el contexto acuícola

responsabilidad social empresarial. Esta integración normativa no representa mero añadido externalista a la práctica científica, sino una reconstrucción interna de los fundamentos epistemológicos que orientan la investigación en biología acuícola. La constitución de una filosofía de la biología para el siglo XXI implica, en consecuencia, la elaboración de epistemologías situadas que reconozcan la historicidad del conocimiento, la pluralidad de formas de inteligencia biológica y la necesidad de diálogo intercultural sobre los usos sostenibles de los ecosistemas acuáticos. El biólogo contemporáneo debe operar como epistemólogo crítico capaz de navegar entre escalas temporales diversas, desde los ciclos mitopoéticos arcaicos hasta las urgencias climáticas actuales, configurando un saber híbrido, pero riguroso sobre la vida acuática.


MAPA MENTAL: EPISTEMOLOGÍA DE LA ACUICULTURA
Capítulo 1 - Parte 1: Fundamentos Onto-Teleológicos y Gnosiológicos
CAPÍTULO 1 Filosofía, Ciencia y Mito en Acuicultura
1.1 Saber Mítico vs Filosófico-Racional
1.2 Pensamiento Filosófico vs. Científico
1.3 Magia Técnica vs Ciencia Experimental
Creencias populares reproducción peces
Teleología vitalista
Taxonomías folk
Conocimiento ecológico tradicional
Causalidad inmanente
Estaciones marinas
Universalidad abstracta
Argumentación metacognitiva
Método experimental
Control de variables
Refutabilidad (Popper)
Reproducibilidad
Malinowski: Magia vs. Ciencia
Domesticación (China antigua)
Principios de simpatía/contagio
Viveros Meiji (Japón 1877)
Contrastabilidad
Materialismo metodológico
Aislamiento de variables
Integración Epistemológica
1.1 Saber Mítico
1.2 Pensamiento Filosófico/Científico
1.3 Magia vs Ciencia Experimental

Filosofía, ciencia y mito en el contexto acuícola

La biología del siglo XXI exige una fundamentación ontológica rigurosa que trascienda el empirismo descriptivo tradicional, integrando el pensamiento filosófico crítico con las prácticas científicas contemporáneas. La tensión entre las concepciones preformacionistas y epigenéticas en la explicación de la morfogénesis, debatida desde la antigüedad griega hasta las teorías actuales de redes regulatorias genómicas, ilustra cómo los supuestos filosóficos sustentan inevitablemente la investigación biológica (Müller, 2025). En el ámbito acuícola, esta condición resulta particularmente imperiosa: la comprensión de los sistemas acuáticos vivos requiere no únicamente datos empíricos, sino una epistemología que articule los niveles reduccionistas de análisis molecular con los enfoques sistémicos de las interacciones ecológicas. La creciente complejidad de la biología moderna, enfrentada a desafíos de sostenibilidad y gestión ecosistémica, demanda biólogos capaces de reflexionar críticamente sobre los fundamentos gnoseológicos que validan su conocimiento, reconociendo que toda observación biológica está mediada por marcos teóricos preexistentes.

La dicotomía entre conocimiento científico institucionalizado y saberes tradicionales evidencia la pluralidad epistemológica inherente a los sistemas acuáticos gestionados por comunidades humanas. Las prácticas pesqueras y acuícolas tradicionales, lejos de constituir meras creencias mitológicas, operan con herramientas explicativas causales que rivalizan en sofisticación con las hipótesis científicas formales, aunque divergen en criterios de validación y replicabilidad (Narchi et al., 2020). Los pescadores tradicionales emplean razonamientos inductivos y modelos mecanicistas para explicar la dinámica poblacional de especies marinas, identificando interacciones causales entre variables ambientales y comportamiento faunístico. Sin embargo, estas comunidades epistémicas locales aceptan verdades basadas en pruebas singulares cruciales, mientras la ciencia académica exige testigos múltiples y replicables, diferencia que refleja distintas ontologías del ser acuático y distintas concepciones sobre la estabilidad temporal de los sistemas naturales. Comprender esta

heterogeneidad epistemológica resulta fundamental para el biólogo acuícola del presente, quien debe navegar entre racionalidades diversas sin caer en el reduccionismo positivista ni en el relativismo extremo.

La constitución de comunidades epistémicas especializadas determina qué proposiciones sobre los sistemas acuáticos adquieren estatus de conocimiento válido en el campo de la biología. Estos colectivos, definidos por el dominio de competencias específicas y el compromiso con normas de validación intersubjetiva, establecen los criterios mediante los cuales las creencias sobre la producción acuícola se justifican como verdaderas (Kelly et al., 2021). La investigación integrativa en ciencias marinas requiere, por tanto, un examen continuo de las preguntas epistemológicas fundamentales: qué se conoce, cómo se conoce y en qué medida dicho conocimiento corresponde con el de otros actores. En el contexto de la economía azul y la gestión sostenible de recursos acuáticos, esta reflexividad resulta indispensable cuando colisionan diferentes conjuntos de saberes —científicos, industriales, indígenas— respecto a la explotación de ecosistemas acuáticos. El biólogo del siglo XXI debe operar como filósofo natural crítico, capaz de develar los supuestos ontológicos que subyacen a las prácticas técnicas y de mediar en la construcción social del conocimiento acuícola legítimo.

1.1. El saber mítico-religioso vs. el saber filosófico-racional: el caso de las creencias populares sobre la reproducción de peces

La distinción epistemológica entre conocimiento mítico-religioso y saber filosófico-racional constituye un eje fundamental para comprender la evolución histórica de las prácticas acuícolas. En numerosas culturas tradicionales pesqueras, la reproducción de los peces era interpretada mediante esquemas explicativos que atribuían a fuerzas sobrenaturales la generación de la vida acuática, sin establecer distinciones claras entre representación simbólica y realidad perceptual (Cassirer, 1955/2012). Esta fusión indiferenciada de planos ontológicos explica por qué en diversas tradiciones pesqueras se atribuía la fecundidad de los bancos de

peces a la intervención directa de entidades divinas, prescindiendo de la observación sistemática de los comportamientos reproductivos.

El conocimiento ecológico tradicional (TEK) de comunidades pesqueras artesanales ha sido transmitido generacionalmente mediante narrativas que integran observaciones empíricas con creencias cosmológicas. Según investigaciones recientes sobre la integración epistemológica en sistemas socio-ecológicos acuáticos, este saber se estructura como un complejo anidado de prácticas, instituciones y visiones del mundo que configuran la percepción ambiental de los pescadores (Golembiewski et al., 2025). En el contexto específico de la reproducción de peces, tales sistemas de conocimiento frecuentemente asociaban los eventos de desove con signos astrológicos o ciclos lunares interpretados mágicamente, estableciendo relaciones de parentesco simbólico con las especies acuáticas que dificultaban la objetivación necesaria para el estudio científico.

La transición hacia el saber filosófico-racional implicó la instauración de distanciamiento crítico entre el observador y los objetos naturales, operación que constituyó la condición de posibilidad para la zoología experimental moderna. El establecimiento de estaciones marinas a finales del siglo XIX permitió el estudio de organismos marinos en su ambiente natural, generando transformaciones epistemológicas profundas al sustituir la contemplación especulativa por la intervención experimental sistemática (Carrau, 2024). Respecto a la reproducción de peces, este giro racional exigió la superación de explicaciones teleológicas antropomórficas en favor de la identificación de variables controlables como temperatura, fotoperiodo y parámetros fisicoquímicos del agua.

El saber filosófico-racional se distingue por su búsqueda de causalidades naturales inmanentes, renunciando a las explicaciones sobrenaturales como principios explicativos últimos. El problema de la demarcación entre ciencia y no ciencia adquirió protagonismo histórico precisamente cuando filósofos naturales griegos intentaron diferenciar sus métodos de los relatos míticos de

sus predecesores, estableciendo criterios de contrastabilidad empírica (Hansson, 2017). Esta operación demarcatoria resultó esencial para el desarrollo de la ictiología moderna, particularmente cuando científicos impusieron la observación directa de las gónadas y el seguimiento histológico del desarrollo ovocitario como únicas vías válidas para comprobar el estado reproductivo de los peces.

Las comunidades pesqueras tradicionales del Amazonas poseen taxonomías folk elaboradas que clasifican los peces según comportamientos reproductivos observables, aunque dichas categorizaciones mezclan atributos morfológicos con interpretaciones vitalistas. La biología folk posee estructuras conceptuales universales que distinguen formas de vida mediante órganos esenciales analógicos, incluyendo aquellos relacionados con la locomoción, digestión y reproducción, operando mediante esencialismo intuitivo más que mediante análisis funcional de mecanismos causales (Atran, 1998/2015). Estas clasificaciones limitan su capacidad predictiva respecto a los ciclos reproductivos en condiciones ambientales variables, al no establecer relaciones causales formales entre variables.

El conocimiento tradicional sobre reproducción de peces frecuentemente presenta discontinuidades respecto a los datos científicos biológicos, particularmente en lo concerniente a la determinación de tallas de madurez sexual. Los pescadores artesanales del Amazonas identifican el tamaño de primera madurez sexual señalando los individuos más pequeños con gónadas desarrolladas, mientras que la ciencia fisheries define dicha talla mediante la longitud donde el cincuenta por ciento de la población es capaz de reproducirse, evidenciando diferencias metodológicas fundamentales (Silvano & Valbo-Jorgensen, 2008/2016). Esta discrepancia epistémica ilustra cómo el pensamiento mítico tiende a la generalización inductiva inmediata, mientras que el saber científico exige cuantificación estadística y estandarización metodológica.

La epistemología del conocimiento tradicional pesquero se fundamenta en la acumulación de observaciones empíricas

secularizadas, transmitidas mediante narrativas orales que preservan información ecológica dentro de marcos interpretativos culturalmente coherentes. El conocimiento ecológico local comprende información sobre comportamiento de peces, ambiente físico marino y hábitats, aunque carece del mecanismo de refutabilidad que caracteriza al pensamiento científico racional (Johannes, 1981/2018). Esta ausencia de protocolos sistemáticos de verificación establece una demarcación epistemológica fundamental entre ambas formas de comprender los procesos reproductivos acuáticos.

La filosofía racional exige la explicitación de los principios causales y la verificación intersubjetiva de los enunciados, operaciones ausentes en el saber mítico-religioso donde la autoridad del conocimiento reside en la tradición ancestral. La comparación entre conocimiento local y científico respecto a la reproducción de peces muestra que el primero resulta relativamente pobre en comparación con otras formas de conocimiento biológico local, aunque existen excepciones notables en especies de importancia cultural directa (Begossi, 2015). Esta asimetría evidencia que el pensamiento mítico atiende prioritariamente a las necesidades prácticas inmediatas más que al establecimiento de generalizaciones teóricas sobre la biología de la reproducción.

La domesticación de peces en estanques, desarrollada milenariamente en China desde el periodo de Fan Li, representa una transición ambigua entre el saber técnico-empírico y la comprensión científico-experimental. Los primeros cultivadores de carpas comunes poseían comprensiones rudimentarias de la biología reproductiva, mezclando prácticas efectivas con creencias distantes de la realidad fisiológica, operando mediante reglas de thumb internalizadas que no constituían teoría explicitada (Nash, 2011/2015). Esta situación ejemplifica el concepto hegeliano de que el entendimiento técnico-práctico precede a la ciencia reflexiva, funcionando mediante conocimiento tácito no formalizado.

Las creencias populares sobre la reproducción de peces en culturas mesoamericanas contemporáneas revelan la persistencia

de interpretaciones vitalistas donde la generación de vida se concibe como emanación de fuerzas espirituales inherentes al agua. El conocimiento local sobre reproducción de peces constituye un nicho cognitivo vago en comparación con el conocimiento sobre hábitats o comportamientos alimenticios, siendo compatible con el pensamiento mítico-religioso donde la falta de precisión causal se compensa mediante atribución de intencionalidad teleológica (Fernández-Rivera Melo et al., 2024). Esta vaguedad epistemológica impide la predicción precisa de eventos reproductivos en condiciones ambientales modificadas.

La irrupción del método experimental en zoología marina durante la Belle Époque científica instituyó rupturas irreversibles con las explicaciones míticas. Los laboratorios marinos del Mediterráneo impusieron protocolos de observación controlada que permitieron establecer correlaciones causales entre variables ambientales y los ciclos reproductivos de peces marinos, implicando la substitución de la physis aristotélica concebida como naturaleza viviente por un concepto de naturaleza mecanizable (Carrau, 2024). Esta transformación epistemológica permitió la manipulación experimental de los procesos reproductivos, desplazando las explicaciones finalistas por análisis de mecanismos causales eficientes.

La distinción entre ciencia y saber tradicional no implica jerarquía axiológica absoluta sino diferencias en los criterios de validez epistémica. La ciencia constituye un concepto de agrupamiento que reúne actividades diversas relacionadas mediante prácticas epistémicas compartidas, mientras que el pseudosaber opera mediante doctrinas desviadas que imitan superficialmente la ciencia sin cumplir sus estándares rigurosos (Dawes, 2018). Aplicado a la reproducción de peces, este análisis permite comprender por qué ciertas prácticas tradicionales de manejo pesquero, aunque efectivas empíricamente, no constituyen ciencia propiamente dicha por carecer de explicitación teórica y refutabilidad.

El pensamiento filosófico-racional establece demarcaciones ontológicas nítidas entre lo físico y lo metafísico, entre lo natural y lo sobrenatural, operaciones conceptuales necesarias para la biología reproductiva moderna. La búsqueda de certeza apodíctica caracterizó históricamente el saber científico aristotélico, distanciándolo de los relatos míticos que operaban mediante imaginería analógica y polisemia interpretativa (Hansson, 2021). En el estudio de la reproducción de peces, esta exigencia de precisión lógica se tradujo en la necesidad de comprobar etapas gonadales mediante cortes histológicos y análisis bioquímicos, superando la macroscopía intuitiva del pescador tradicional.

La epistemología contemporánea de la biología reconoce que el vitalismo folk persiste incluso entre biólogos profesionales como heurístico cognitivo indispensable. Muchos biólogos operativos mantienen compromisos mínimos con el vitalismo al suponer que las leyes fisicoquímicas actuales no son suficientes para la biología y deben enriquecerse con principios organizacionales emergentes, sugiriendo que la demarcación entre saber místico y científico resulta más gradual que categórica (Atran & Medin, 2008/2015). Esta observación indica que en la comprensión de los procesos reproductivos acuáticos, la teleología heurística coexiste con el análisis mecanicista en zonas grises epistemológicas.

1.2. Características del pensamiento filosófico y su distinción del pensamiento científico

El pensamiento filosófico se distingue fundamentalmente por su orientación hacia la universalidad abstracta y la fundamentación última de los principios, mientras que el pensamiento científico prioriza la determinación empírica de regularidades mediante experimentación controlada. La filosofía abarca metafísica, epistemología y ética, dominios que involucran verdades necesarias, normativas y abstractas, en contraposición a la ciencia que se focaliza en hechos contingentes, descriptivos y físicos susceptibles de observación experimental (Metcalf, 2018). Esta distinción resulta operativa para comprender cómo la filosofía de la biología se ocupa de las condiciones de posibilidad del conocimiento ictiológico, mientras que la biología misma se dedica

a la determinación efectiva de los mecanismos reproductivos de los peces.

El método filosófico carece de procedimientos estandarizados equivalentes al método científico experimental, operando mediante argumentación racional y análisis conceptual más que mediante la intervención directa sobre los objetos materiales. La argumentación constituye el método más compartido en filosofía, fundado en las tres leyes del pensamiento aristotélico y la lógica sentencial formalizada o informal, sin requerir la manipulación activa de variables en laboratorios (Virmaior et al., 2016). En contraste, la ciencia biológica requiere la manipulación activa de variables en condiciones seminaturales para establecer relaciones causales, particularmente en el estudio experimental de la reproducción de peces donde es necesario controlar parámetros ambientales específicos.

La epistemología filosófica aborda cuestiones *a priori*, concernientes a la naturaleza del conocimiento, la estructura de la realidad y la justificación de las creencias, independientemente de la verificación empírica inmediata. Las creencias filosóficas características se forman y justifican independientemente de la observación sensorial, mediante el solo ejercicio del pensamiento racional, mientras que el pensamiento científico exige la confrontación sistemática con datos empíricos observables (Metcalf, 2018). En el contexto acuícola, esta diferencia se manifiesta en que la filosofía reflexiona sobre la naturaleza de la causalidad biológica, mientras la ciencia determina experimentalmente los niveles hormonales que inducen el desove en especies específicas.

El alcance del pensamiento filosófico es transdisciplinario y abarcador, mientras que el pensamiento científico se especializa en dominios específicos de la realidad. La filosofía estudia todos los métodos de razonamiento, mientras la ciencia desarrolla y explota un método particular de razonamiento que se originó dentro de la filosofía, pero demostró ser valioso fuera de ella (Sunami, 2016). Esta especialización metodológica explica por qué la biología de la reproducción de peces ha desarrollado técnicas propias como el

marcado con elastómeros visibles, la contabilización de huevos mediante software específico y el análisis histológico de gónadas, procedimientos ajenos a la reflexión filosófica pura.

El pensamiento filosófico es autocrítico y metarreflexivo, examinando sus propios presupuestos mientras que el pensamiento científico, en su definición estricta, no requiere tal autoexamen como parte constitutiva. La ciencia moderna utiliza el método inductivo y no exige el examen crítico del propio científico como condición de su práctica, mientras la filosofía es una metadisciplina que examina a sí misma tanto como al mundo circundante (Humphrey, 2021). Esta distinción implica que la biología acuícola puede operar mediante protocolos experimentales sin cuestionar constantemente sus fundamentos epistemológicos, labor que corresponde específicamente a la filosofía de la ciencia.

El estatus ontológico de las entidades teóricas difiere entre ambos modos de pensamiento: la filosofía especula sobre objetos abstractos inobservables mientras la ciencia se centra en entidades físicas mensurables. La filosofía abarca objetos abstractos si existen, mientras la ciencia estudia objetos físicos hechos de materia con ubicación espaciotemporal específica (Metcalf, 2018). En la biología moderna, esta diferencia se manifiesta en la distinción entre los conceptos filosóficos de "organismo" o "vida" y las entidades concretas manipulables en los experimentos de cultivo, tales como las tilapias *Oreochromis* o las truchas arcoíris.

El criterio de demarcación entre ciencia y no ciencia propuesto por Popper, basado en la refutabilidad, ilumina la diferencia entre especulación filosófica y teoría científica. El criterio del estatus científico de una teoría radica en su falsabilidad, refutabilidad o contrastabilidad, exigiendo que las proposiciones científicas prohíban ciertos eventos empíricos para constituirse como conocimiento genuino (Popper, 1959/2005). Las teorías filosóficas sobre la naturaleza de la reproducción animal, al no ser susceptibles de refutación experimental directa, operan mediante ajustes racionales continuos más que mediante invalidación definitiva mediante datos empíricos contrarios.

La precisión y determinación son características distintivas del pensamiento científico en contraposición a la generalidad y amplitud del filosófico. La filosofía trata con pensamiento abstracto mientras la ciencia estudia materia concreta, aunque ambos emplean razonamiento lógico y pruebas rigurosas (Hosch, 2018). En el contexto de la biología, esta diferencia se traduce en que la ciencia determina experimentalmente la temperatura exacta de desove de una especie, mientras la filosofía reflexiona sobre la naturaleza de la causalidad biológica o el estatus explicativo de la teleología en los procesos reproductivos.

El progreso epistémico en filosofía y ciencia presenta dinámicas diferenciadas: mientras la ciencia acumula conocimientos mediante la refutación de teorías previas, la filosofía avanza mediante el perfeccionamiento dialéctico de posiciones. El progreso filosófico ocurre porque el análisis dialéctico genera objeciones convincentes a una posición dada, conduciendo a su mejora o abandono, seguido de más análisis crítico de la posición revisada (Pigliucci, 2013/2017). Esta dinámica explica por qué conceptos filosóficos como "organismo" o "desarrollo" han evolucionado conceptualmente sin ser abandonados definitivamente, mientras teorías científicas específicas sobre reproducción de peces han sido invalidadas por datos experimentales contrarios.

La dependencia mutua entre ambas formas de pensamiento constituye un rasgo crucial de su relación histórica. La ciencia depende de supuestos filosóficos fuera del alcance de la validación empírica, mientras las investigaciones filosóficas deben informarse por la mejor ciencia disponible (Steel et al., 2017). En biología acuícola, esta interdependencia se manifiesta en que la práctica experimental presupone conceptos filosóficos de causalidad, identidad temporal y naturaleza, al tiempo que la filosofía de la biología debe atender a los descubrimientos empíricos sobre reproducción y desarrollo de los peces.

1.3. La biología como campo de demarcación entre magia técnica y ciencia experimental

La biología constituye un campo privilegiado para analizar la transición epistemológica desde la magia técnica hacia la ciencia experimental, mostrando las tensiones inherentes a dicha demarcación. Malinowski estableció una separación tajante entre ciencia y magia, caracterizando a la primera como actividad profana y a la segunda como perteneciente al dominio sagrado, oposición fundamentalmente distinta a las concepciones de Tylor y Frazer que agrupaban magia con ciencia como pseudociencia (Malinowski, 1925/2015). En la práctica acuícola tradicional, esta separación resulta difusa: los cultivadores de carpas en China antigua combinaban técnicas hidrodinámicas empíricamente efectivas con rituales propiciatorios destinados a asegurar la fecundidad de los estanques.

La magia técnica opera mediante principios de simpatía y contagio, estableciendo conexiones causales donde la ciencia experimental identifica correlaciones espurias o coincidencias temporales. El pensamiento mítico atribuye fuerzas reales tanto a la imagen como a la palabra, eliminando la distinción entre representación mental y objeto material (Cassirer, 1925/2012). En los primeros intentos de cultivo de peces marinos, esta mentalidad se manifestó en la creencia de que la presencia de organismos zooplanctónicos emergía mágicamente en estanques secos, cuando en realidad provenía de quistes resistentes depositados previamente por hembras adultas.

El establecimiento de viveros experimentales en Japón durante la era Meiji (1877) marca la transición institucional hacia la ciencia acuícola propiamente dicha. El gobierno japonés construyó infraestructuras de investigación aplicada para la propagación de salmónidos y anguilas, complementadas por reformas legislativas que permitían la inversión capitalista en biología basada en títulos de propiedad legal (Nash, 2011/2015). Esta institutionalización del conocimiento experimental separó progresivamente las prácticas de cultivo de los rituales tradicionales, estableciendo protocolos de verificación intersubjetiva que contrastan con la transmisión esotérica del saber mágico.

La demarcación entre magia técnica y ciencia experimental resulta particularmente compleja en la reproducción artificial de peces, donde el éxito empírico precedió a la comprensión científica. El conocimiento ecológico tradicional de los pescadores comprende información sobre comportamiento reproductivo, aunque anidada dentro de complejos creencia-práctica cuya validez epistémica difiere radicalmente de la ciencia occidental (Berkes, 2009/2015). Los primeros criadores de truchas en el siglo XIX lograron fertilizaciones artificiales mediante técnicas rudimentarias de extracción de gónadas sin comprender la fisiología endocrina reproductiva, operando en una zona liminal entre la eficacia técnica y la comprensión causal científica.

El problema de la demarcación, según Laudan, no admite solución mediante criterios monocausales, sino que requiere listados de criterios epistemológicos como contrastabilidad, rigor, reproducibilidad, adecuación empírica, poder explicativo y precisión (Laudan, 1983/2015). La biología contemporánea satisface estos criterios mediante el establecimiento de diseños experimentales con réplicas, controles y análisis estadísticos rigurosos, mientras las prácticas tradicionales de cultivo extensivo operan mediante ensayo-error sin protocolos sistemáticos de verificación.

La ciencia experimental requiere el aislamiento controlado de variables para establecer relaciones causales, operación incompatible con la concepción holística mágica donde todos los factores operan simultáneamente en un plano de realidad indiferenciado. Los laboratorios marinos del siglo XIX permitieron el estudio de organismos en condiciones controladas, transformando la comprensión de la zoología mediante la intervención experimental sistemática (Carrau, 2024). En biología, este aislamiento se manifiesta en los experimentos de jardín común que comparan poblaciones de peces bajo condiciones ambientales idénticas, revelando variación genética adaptativa en rasgos reproductivos.

La reproducibilidad constituye un criterio demarcatorio esencial: los resultados científicos deben ser replicables por

investigadores independientes, mientras las prácticas mágicas dependen frecuentemente del carisma individual del operador. La ciencia es un proceso social que implica que una teoría se considera científica porque forma parte de una tradición de investigación perseguida por la comunidad científica, exigiendo que los protocolos de inducción del desove puedan ser ejecutados por diferentes equipos con resultados equivalentes (Dawes, 2018). Esta reproducibilidad contrasta con las prácticas tradicionales donde el éxito depende de la habilidad tácita individual no transferible.

La precisión cuantitativa distingue la ciencia experimental de la magia técnica, que opera mediante categorías cualitativas y umbrales imprecisos. Los estudios sobre fecundidad de peces en aguas subtropicales requieren comprobar patrones de fecundidad indeterminada versus determinada, cuantificando tamaños de desove y frecuencias reproductivas mediante técnicas histológicas estandarizadas (Fukuda et al., 2011/2020). Esta operacionalización numérica contrasta con las prácticas tradicionales de "cosecha" de huevos basadas en estimaciones visuales aproximativas y conocimiento tácito no formalizado.

La predictibilidad constituye otro eje demarcatorio: la ciencia permite anticipaciones racionales basadas en leyes establecidas, mientras la magia depende de la contingencia y la interpretación *ad hoc*. Los modelos predictivos desarrollados por NOAA para estimar características reproductivas de especies de peces desconocidas mediante algoritmos de correlación de rasgos, ejemplifican la capacidad científica de generalización sistemática (Thorson et al., 2023). Tales predicciones contrastan con las profecías adivinatorias de los pescadores tradicionales, que dependen de signos contextuales interpretados hermenéuticamente más que de inferencias nomológicas.

El materialismo metodológico de la ciencia experimental exige la explicación de fenómenos biológicos mediante causas naturales inmanentes, sin invocar entidades sobrenaturales. El criterio de dominio científico requiere que las declaraciones se refieran a entidades y procesos dentro del ámbito de la ciencia en sentido amplio, explicando el desove mediante interacciones hormonales

endocrinas, fotoperiodo y temperatura (Hansson, 2013/2017). La biología de la reproducción de peces cumple este criterio al prescindir de explicaciones vitalistas o espirituales sobre la "fuerza generativa" de los organismos acuáticos.

La agencia de organismos, entendida como propiedad fundamental de los seres vivos, ha sido reconceptualizada en biología filosófica reciente, afectando la demarcación entre explicaciones mecanicistas y teleológicas. El enfoque ecológico dialéctico califica a los organismos como unidades agentivas marcadas por la codeterminación fundamental con su ambiente, sugiriendo que la agencia organismal debe tomarse como propiedad observable de los organismos como totalidades integradas (Aaby & Desmond, 2021). Esta perspectiva permite comprender cómo los peces en cultivo no son meros objetos mecánicos manipulables, sino sistemas autónomos con comportamientos reproductivos adaptativos.

La integración de conocimiento tradicional con métodos experimentales representa un desafío epistemológico contemporáneo que trasciende la demarcación rígida entre magia y ciencia. Comunidades pesqueras mexicanas valoran la transferencia bidireccional de conocimiento entre generaciones, reconociendo el valor de actores externos con saber científico-técnico para promover innovación (Fernández-Rivera Melo et al., 2024). Esta integración epistemológica pluralista sugiere que la biología sostenible del siglo XXI requiere articular racionalidades diversas, combinando la precisión experimental con la comprensión contextual del conocimiento ecológico tradicional.

La epistemología de la experimentación en biología ha desarrollado protocolos específicos para la observación de comportamiento reproductivo en condiciones controladas que cumplen con estándares científicos rigurosos. Los métodos de recolección, transporte y observación de peces en acuarios permiten investigaciones detalladas de ecología reproductiva mediante técnicas como marcado VIE y nidos artificiales, estableciendo procedimientos reproducibles que contrastan con las

prácticas tradicionales de observación pasiva (Fukuda et al., 2011/2020). Tales protocolos materializan el giro experimental que distingue la ciencia acuícola moderna de sus predecesoras técnicas precientíficas.

Resumen

Este capítulo examina la epistemología del conocimiento acuícola mediante el análisis de tres ejes fundamentales. Primero, distingue el saber mítico-religioso tradicional respecto a la reproducción de peces —basado en analogías simpatéticas, teleología vitalista y transmisión esotérica— del saber filosófico-racional, el cual exige causalidades naturales inmanentes, verificación intersubjetiva y control experimental de variables. La investigación demuestra que las comunidades pesqueras artesanales operan con taxonomías folk que integran observaciones empíricas con cosmovisiones sagradas, mientras la zoología experimental moderna instituyó el distanciamiento crítico entre observador y objeto. Segundo, caracteriza el pensamiento filosófico por su orientación hacia universalidades abstractas, métodos argumentativos sin intervención material y reflexión metacognitiva, contraponiéndolo al pensamiento científico, definido por la determinación empírica mediante experimentación controlada, precisión cuantitativa y reproducibilidad intersubjetiva. La demarcación popperiana por refutabilidad ilumina esta diferencia. Tercero, analiza la biología como campo histórico donde opera la transición desde la magia técnica —eficaz pero precientífica, basada en principios de contagio y simpatía— hacia la ciencia experimental, la cual satisface criterios de contrastabilidad, aislamiento de variables y predictibilidad nomológica. La domesticación de peces ejemplifica esta tensión demarcatoria. Se concluye que la biología contemporánea requiere integración epistemológica que articule racionalidades diversas sin reduccionismos imperiales, reconociendo que el conocimiento tradicional carece de refutabilidad sistemática, mientras la ciencia impone materialismo metodológico y estandarización protocolaria para el biólogo acuícola crítico del siglo XXI.


RESUMEN CAPÍTULO 1:
EPISTEMOLOGÍA DEL CONOCIMIENTO ACUÍCOLA
EPISTEMOLOGÍA ACUÍCOLA
EJE 1: SABERES SOBRE LA REPRODUCCIÓN DE PECES
EJE 2: PENSAMIENTO FILOSÓFICO vs. CIENTÍFICO
EJE 3: TRANSICIÓN EN LA ACUICULTURA HISTÓRICA
SABER MÍTICO-RELIGIOSO TRADICIONAL
SABER FILOSÓFICO-RACIONAL
PENSAMIENTO FILOSÓFICO
PENSAMIENTO CIENTÍFICO
MAGIA TÉCNICA (Pre-científica)
CIENCIA EXPERIMENTAL
Analogías simpatéticas
Teleología vitalista
Transmisión esotérica
Integración de observaciones y cosmovisiones sagradas
Comunidades pesqueras artesanales
Causalidades naturales inmanentes
Verificación intersubjetiva
Control experimental de variables
Distanciamiento crítico observador-objeto
Universalidades abstractas
Métodos argumentativos
Sin intervención material
Reflexión metacognitiva
Determinación empírica
Experimentación controlada
Precisión cuantitativa
Reproducibilidad intersubjetiva
Eficacia sin base científica
Principios de contagio y simpatía
Contrastabilidad
Aislamiento de variables
Predictibilidad nomológica
Ejemplo: Domesticación de peces
Taxonomías folk vs. Zoología experimental moderna
CRITERIO DE DEMARCACIÓN
Popper (Refutabilidad)
Tensión Demarcatoria
CONCLUSIONES: ACUICULTURA CONTEMPORÁNEA
INTEGRACIÓN EPISTEMOLÓGICA (Sin reduccionismos)
RECONOCIMIENTO DE DIFERENCIAS
Conocimiento tradicional: Carece de refutabilidad
Ciencia: Materialismo metodológico
ROL DEL BIÓLOGO ACUÍCOLA CRÍTICO (Siglo XXI)

Referencias bibliográficas

Kelly, R., Fleming, C., Peck, S., Ekstrom, J., & Littles, C. (2021). Five questions to understand epistemology and its influence on integrative marine research. *Frontiers in Marine Science*, 8, 574158. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.574158

Müller, G. B. (2025). Contrasting philosophical and scientific views in the long history of studying the generation of form in development. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 192, 106-115. https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2024.05.002

Narchi, N. E., Cornier, S., Canu, D. M., & García-Quijano, C. G. (2020). Philosophy of ethnobiology: Understanding knowledge integration and its limitations. *Journal of Ethnobiology*, 40(1), 3-17. https://doi.org/10.2993/0278-0771-40.1.3

Aaby, B. H., & Desmond, H. (2021). Niche construction and teleology: Organisms as agents and contributors in ecology, development and evolution. *Biology & Philosophy, 36*(5), 1–20. https://doi.org/10.1007/s10539-021-09808-5

Atran, S. (2015). Folk biology and the anthropology of science: Cognitive universals and cultural particulars. *Behavioral and Brain Sciences, 21*(4), 547–569. https://doi.org/10.1017/S0140525X98001277 (Trabajo original publicado en 1998)

Atran, S., & Medin, D. L. (2015). *The native mind and the cultural construction of nature*. MIT Press. (Edición revisada de 2008)

Begossi, A. (2015). Ecological knowledge, tacit knowledge, and the practice of fishers' communities. In *Traditional ecological knowledge and natural resource management* (pp. 89–104). University of Nebraska Press. (Trabajo original de 1998)

Berkes, F. (2015). *Sacred ecology* (4th ed.). Routledge. (Edición original de 2009)

Carrau, T. (2024). Experimental Zoology and the Concept of Milieu: The Role of Marine Laboratories at the Turn of the 19th Century. *Transversal: International Journal for the*

Historiography of Science, 17, 1–18. https://doi.org/10.24117/2526-2270.2024.i17.05

Cassirer, E. (2012). *The philosophy of symbolic forms: Mythical thought* (R. Manheim, Trans.). Yale University Press. (Obra original publicada en 1925)

Dawes, G. W. (2018). Philosophy of science and the re-evaluation of the demarcation problem. *Foundations of Science, 23*(3), 495–519. https://doi.org/10.1007/s10699-017-9528-4

Fernández-Rivera Melo, O., et al. (2024). Inheriting wisdom: Transfer of traditional, scientific, and ecological knowledge in fishing communities in Mexico. *Frontiers in Sustainability, 5*, 1386259. https://doi.org/10.3389/frsus.2024.1386259

Fukuda, H., et al. (2020). Basic methods for the study of reproductive ecology of fish in aquaria. *Journal of Visualized Experiments, 125*(55642). https://doi.org/10.3791/55642 (Protocolo original de 2011, versión citada 2020)

Golembiewski, N., et al. (2025). Braiding traditional ecological knowledge and Western science in freshwater social-ecological systems: A systematic map. *Environmental Evidence, 14*(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/s13750-025-00352-5

Hansson, S. O. (2017). Science denial as a form of pseudoscience. *Studies in History and Philosophy of Science Part A, 63*, 39–47. https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2017.05.002

Hansson, S. O. (2021). Science, values, and the new demarcation problem. *European Journal for Philosophy of Science, 11*(1), 1–18. https://doi.org/10.1007/s13194-021-00369-x

Hosch, W. L. (2018). How does philosophy differ from science? *Britannica Academic*. https://academic.britannica.com

Humphrey, M. (2021). The difference between modern science and philosophy. *Philosophy and Science Discussion Forum*. https://medium.com/@nebeolisai/philosophy-and-science-how-can-

one-differentiate-between-philosophy-and-science-915141d672db

Johannes, R. E. (2018). *Words of the lagoon: Fishing and marine lore in the Palau district of Micronesia* (Ed. commemorative). University of California Press. (Obra original de 1981)

Laudan, L. (2015). The demise of the demarcation problem. En M. Pigliucci & G. Boudry (Eds.), *Philosophy of pseudoscience: Reconsidering the demarcation problem* (pp. 111–127). University of Chicago Press. (Trabajo original de 1983)

Malinowski, B. (2015). *Magic, science and religion and other essays*. Waveland Press. (Obra original de 1925)

Metcalf, T. (2018). Philosophy and its contrast with science. *1000-Word Philosophy: An Introductory Anthology*. https://1000wordphilosophy.com/2018/02/13/philosophy-and-its-contrast-with-science/

Nash, C. E. (2015). *The history of aquaculture* (Rev. ed.). Wiley-Blackwell. (Edición original de 2011)

Pigliucci, M. (2017). The demarcation problem: A (belated) response to Laudan. En M. Pigliucci & G. Boudry (Eds.), *Philosophy of pseudoscience: Reconsidering the demarcation problem* (pp. 9–28). University of Chicago Press. (Ensayo original de 2013)

Popper, K. R. (2005). *The logic of scientific discovery*. Routledge. (Obra original publicada en 1959)

Silvano, R. A. M., & Valbo-Jorgensen, J. (2016). Beyond fishermen's tales: Contributions of fishers' local ecological knowledge to fish ecology and fisheries management. *Environment, Development and Sustainability, 10*(5), 657–675. https://doi.org/10.1007/s10668-007-9080-8 (Edición compilada de 2016)

Steel, D., et al. (2017). Epistemic values and the argument from inductive risk. *Philosophy of Science, 77*(1), 14–34. https://doi.org/10.1086/650206

Sunami, C. (2016). How is philosophical reasoning different from scientific or logical reasoning? *Philosophy Stack Exchange*. https://philosophy.stackexchange.com/questions/36131/how-is-philosophical-reasoning-different-from-scientific-or-logical-reasoning

Thorson, J. T., et al. (2023). For the first time, scientists can predict traits for all fish worldwide. *NOAA Fisheries*. https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/first-time-scientists-can-predict-traits-all-fish-worldwide

Virmaior, C., et al. (2016). How is philosophical reasoning different from scientific or logical reasoning? *Philosophy Stack Exchange*. https://philosophy.stackexchange.com/questions/36131/how-is-philosophical-reasoning-different-from-scientific-or-logical-reasoning

Brito, C. (2016). *The monstrous in Aldrovandi and the natural order of marine animals in the 16th and 17th centuries* [Tesis de maestría/doctoral, Universidad Nova de Lisboa]. RUN - Repositório Universidade Nova de Lisboa. https://run.unl.pt/bitstreams/0a17989a-3cf4-406f-a4b3-ad255f4537ff/download

Ciliberti, R., Alfano, L., & Petralia, P. (2024). Ethics in aquaculture: Animal welfare and environmental sustainability. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene, 65*(Suppl. 1), H1-H5. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10876031/

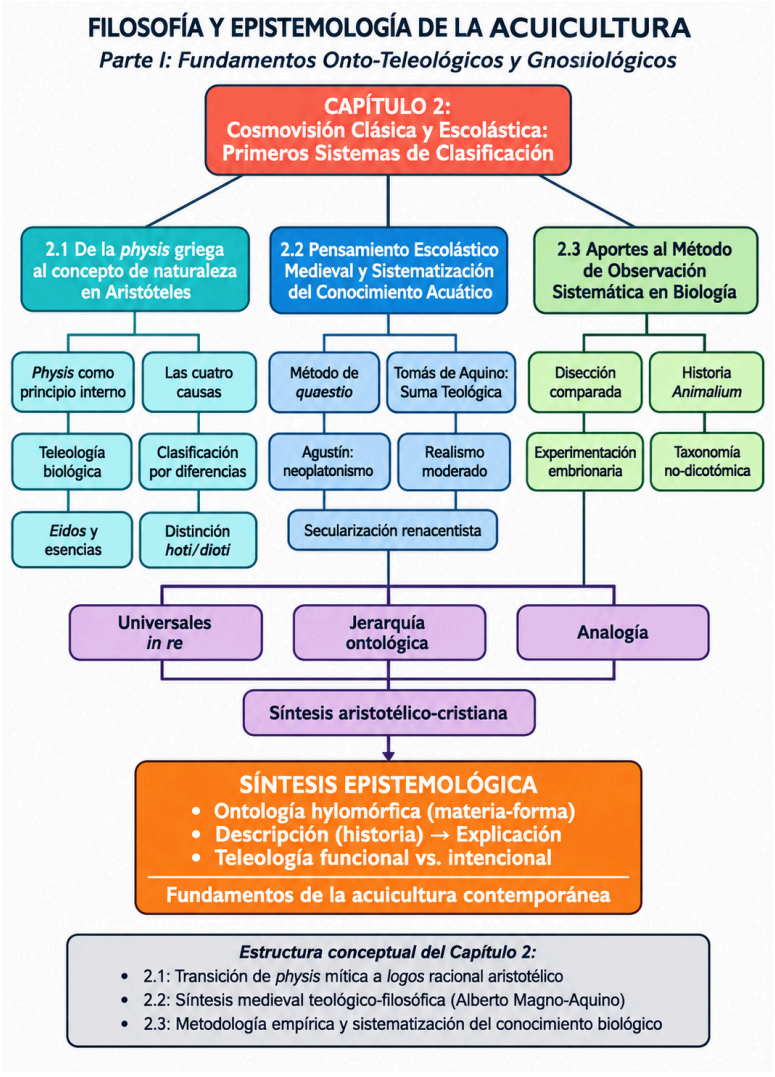
Demir, A. (2025). Anamnesis between myth and epistemology: Recollection in Plato and cross-cultural memory symbolism. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 96*(4), e20231112. https://doi.org/10.1590/0001-376520249631112 (Dialnet: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10440823.pdf)

Duran-Le Peuch, V. (2022). How can we know whether fish feel pain? Epistemology of the scientific study of fish sentience. *PhilArchive*. https://philarchive.org/rec/PEUHCW

Partelow, S., Senff, P., Buhari, N., Schlüter, A., & Kleyer, M. (2018). Operationalizing the social-ecological systems framework in pond aquaculture. *International Journal of the Commons, 12*(1), 100-123. https://doi.org/10.18352/ijc.834

Umpleby, S. A., & Thomas, L. E. (2018). Rethinking the essence of human and other-than-human communication in the Anthropocene epoch: A biosemiotic interpretation of Edgar Morin's "complex thought". *Humanities, 7*(2), 57. https://doi.org/10.3390/h7020057

Capítulo 2
La cosmovisión clásica y la escolástica: primeros sistemas de clasificación del mundo natural



La cosmovisión clásica y la escolástica: primeros sistemas de clasificación del mundo natural

La transición del pensamiento mítico al logos racionalista marcó un giro fundamental en la concepción occidental del mundo natural, estableciendo las bases epistemológicas para la posterior sistematización biológica. La cosmogonía griega arcaica, dominada por explicaciones teogónicas, experimentó una transformación radical cuando los filósofos jónicos iniciaron la búsqueda de principios naturales (archai) susceptibles de explicación racional. Este movimiento intelectual, desarrollado entre los siglos VI y IV a. C., constituyó el primer intento sistemático de comprender la naturaleza como un orden autónomo, regido por leyes internas accesibles a la investigación humana, sin necesidad de recurrir a intervenciones divinas caprichosas (Leroi, 2014). La biología moderna, como disciplina biológica aplicada, hereda directamente este legado de pensamiento, pues sus prácticas de manejo y clasificación de organismos acuáticos descansan sobre presupuestos ontológicos establecidos durante este período fundacional.

La consolidación del concepto de *physis* representó la culminación de este proceso de racionalización del conocimiento natural. Frente a la concepción mítica de un cosmos animado por fuerzas antropomórficas, la filosofía clásica postuló la existencia de una naturaleza regulada por principios causales internos, operando con necesidad y regularidad. Aristóteles sistematizó esta concepción al definir la *physis* como "principio interno de movimiento y reposo", distinguiendo rigurosamente entre entidades naturales, dotadas de fuente immanente de cambio, y artefactos artificiales, cuyo origen reside exclusivamente en la técnica humana externa (Föllinger, 2012). Esta distinción ontológica estableció el marco conceptual dentro del cual la zoología acuática posterior desarrollaría sus categorías analíticas, diferenciando entre procesos biológicos autónomos e intervenciones antropogénicas sobre los ecosistemas acuáticos.

La escolástica medieval constituyó el segundo pilar fundacional de la epistemología biológica, mediando entre la herencia aristotélica y los requerimientos cristianos de sistematización

teológica. Durante los siglos XII y XIII, el redescubrimiento de los textos aristotélicos a través de las traducciones árabes generó un movimiento de síntesis intelectual sin precedentes, encarnado magistralmente en las figuras de Alberto Magno y Tomás de Aquino. Este período universitario estableció las formas de organización del conocimiento científico que perdurarían hasta la revolución experimental del siglo XVII, desarrollando metodologías de observación, clasificación jerárquica y causalidad teleológica aplicables específicamente al estudio de los seres vivos acuáticos y terrestres (Hacking, 2007/2026). La comprensión contemporánea de los ecosistemas acuícolas requiere necesariamente la reconstrucción histórica de estas categorías filosóficas, pues ellas informan aún de manera tácita las prácticas taxonómicas y etológicas modernas.

2.1. De la *physis* griega al concepto de naturaleza en Aristóteles: implicaciones para la zoología acuática

El concepto aristotélico de naturaleza fundamentó la primera epistemología biológica sistemática, distinguiendo rigurosamente entre cuatro tipos de causas explicativas necesarias para comprender los fenómenos vitales. En el *De Generatione Animalium* y en el *De Partibus Animalium*, el Estagirita desarrolló una teoría causal integrada que incluía la causa material (el substrato orgánico), la causa formal (la estructura específica), la causa eficiente (el agente generativo) y la causa final (el telos o propósito funcional) (Lennox, 2012). Esta quadripartición causal permitió por primera vez explicar los procesos biológicos acuáticos —reproducción, nutrición, locomoción y desarrollo embrionario— mediante principios inherentes a los propios organismos, sin recurrir a explicaciones mitológicas externas. La observación empírica de los ciclos vitales en los estanques de la isla de Lesbos proporcionó a Aristóteles la base factual para esta sistematización teórica.

La teleología aristotélica operó como principio heurístico fundamental para la investigación de organismos acuáticos, estableciendo que las partes y procesos biológicos existen en función de fines específicos. El corazón, por ejemplo, aparece diferenciado primero en el embrión no por contingencia mecánica,

sino porque constituye la fuente del calor vital necesario para organizar el desarrollo subsiguiente de los demás órganos (Shoja et al., 2008). Esta concepción finalista orientó las investigaciones zoológicas durante dos milenios, determinando que el objetivo de la ciencia biológica consistía en descubrir las razones por las cuales las estructuras anatómicas —branquias, aletas, ciclos reproductivos— están presentes en los peces y organismos acuáticos. El telos no implicaba una intención consciente, sino la actualización progresiva de potencialidades inherentes a cada especie natural.

La distinción aristotélica entre *hoti* (el hecho) y *dioti* (la razón) estableció la metodología de investigación biológica que vincula descripción empírica con explicación causal. El *Historia Animalium* constituye el registro sistemático de los fenómenos observables —diferencias anatómicas, modos de reproducción, hábitats— mientras que los tratados causales (*De Partibus* y *De Generatione*) proporcionan las explicaciones teleológicas de dichos fenómenos (Lennox, 2012). Esta distinción epistemológica generó la separación metodológica entre registro descriptivo y análisis explicativo que caracteriza a la biología acuática contemporánea, donde los inventarios faunísticos preceden necesariamente a los análisis ecológicos funcionales. La observación de que los peces carecen de pulmones pero poseen branquias, documentada en el libro II del *Historia Animalium*, requería posteriormente una explicación causal en términos de las funciones respiratorias adaptadas al medio acuático.

El concepto de *eidos* (forma específica) en Aristóteles funcionó como criterio clasificatorio fundamental, diferenciando especies animales según sus características esenciales compartidas. Las aves comparten múltiples diferencias correlacionadas —plumas, pico, alas, bipedestación— que definen su naturaleza común, mientras que los peces se distinguen por analogía estructural —escamas en lugar de plumas— y por grados diferenciales de características (Leroi, 2014). Este método de clasificación por múltiples diferencias correlacionadas, opuesto a la dicotomía platónica, permitió organizar la diversidad biológica acuática en grupos naturales (aves, peces, cetáceos) reconocidos empíricamente por "la mayoría" (*hoi polloi*) pero fundamentados filosóficamente en

naturalezas comunes. La zoología acuática posterior heredó este enfoque de clasificación polietética, basada en conjuntos de características coextensivas.

La teoría de la generación animal aristotélica estableció el paradigma epigenético frente al preformacionismo mecanicista. Mediante la disección sistemática de huevos de gallina en intervalos temporales controlados, Aristóteles demostró que los órganos aparecen en secuencia jerárquica —primero el corazón, luego los demás— contradiciendo la teoría de que el embrión contiene preformadas todas las partes en miniatura (Magner, 2002). Este descubrimiento experimental, verificado empíricamente mediante la observación directa de embriones acuáticos y terrestres, estableció que el desarrollo biológico constituye un proceso de emergencia progresiva de complejidad organizada, donde la forma se actualiza a partir de la potencia material mediante la acción causativa del principio vital. La investigación embriológica contemporánea en biología mantiene esta concepción epigenética, estudiando las fases diferenciadas del desarrollo ovárico y larvario en especies de interés comercial.

La concepción aristotélica del alma (*psyche*) como forma entelequia del cuerpo biológico proporcionó el fundamento ontológico para la clasificación funcional de los seres vivos. El alma nutritiva (vegetativa), común a plantas y animales, se diferencia del alma sensitiva, propia de los organismos con capacidad de locomoción y percepción, estableciendo una jerarquía ontológica de facultades vitales (Shields, 2012). Los organismos acuáticos, dotados de alma sensitiva, presentan sistemas sensoriales adaptados al medio líquido, cuyo estudio requiere comprender la correlación entre estructura anatómica y función perceptiva. Esta perspectiva hylomórfica, que considera a los organismos como compuestos inseparables de materia y forma, evitó tanto el reduccionismo materialista como el vitalismo espiritualista en la concepción de la vida acuática.

El análisis aristotélico de las partes de los animales estableció criterios de investigación que priorizan la causalidad final sobre la mera descripción material. En el *De Partibus Animalium*, el

filósofo argumenta que el estudio de los órganos biológicos debe comprender su función teleológica —la esófago es carnosa y sinuosa para dilatarse con el alimento y evitar daños durante la deglución— y no meramente su constitución material (Tipton, 2014). Este principio explicativo aplicose rigurosamente a la anatomía de peces y cetáceos, donde la presencia o ausencia de órganos —cuello, pulmones, vejiga natatoria— se explica mediante la necesidad hipotética impuesta por las funciones vitales requeridas en el medio acuático. La investigación morfológica contemporánea en biología marina mantiene esta orientación funcionalista, aunque reemplazando la teleología metafísica por la teoría de la selección natural.

La distinción entre animales sanguíneos (con hemoglobina) y exsanguíneos (invertebrados) estableció la primera sistematización fisiológica de la fauna marina. Los animales con sangre —mamíferos, aves, peces, cetáceos— comparten la posesión de corazón como fuente del calor vital, mientras que los animales sin sangre —moluscos, crustáceos, equinodermos— presentan estructuras análogas que cumplen funciones equivalentes de nutrición y respiración (Voultsiadou et al., 2017). Esta clasificación, basada en la observación anatómica y fisiológica de organismos del golfo de Kalloni (Lesbos), permitió organizar la diversidad biológica marina según principios funcionales accesibles a la investigación empírica. La taxonomía moderna, aunque reemplazó los criterios aristotélicos por homologías evolutivas, mantiene la estructura jerárquica de grupos funcionales establecida en el *Historia Animalium*.

2.2. El pensamiento escolástico medieval y la sistematización del conocimiento sobre organismos acuáticos

La recepción medieval de la filosofía aristotélica generó una síntesis intelectual sin precedentes, integrando el realismo ontológico grecorromano con la teología cristiana medieval. El redescubrimiento de las obras de Aristóteles a través de las traducciones latinas de textos árabes, liderado por Alberto Magno (1193-1280) y su discípulo Tomás de Aquino (1225-1274), estableció las bases para una *scientia* natural sistemática que

contemplaba los organismos acuáticos como parte de un orden divino racionalmente accesible (Resnick & Kitchell, 1999). Esta síntesis escolástica transformó la biología aristotélica en un sistema enciclopédico donde la clasificación de los seres vivos adquirió dimensiones teológicas y cosmológicas previamente ausentes en la naturaleza griega.

El método escolástico de investigación, caracterizado por la *quaestio* (planteamiento de problemas), las *objectiones* (consideración de tesis contradictorias), la *responsio* (respuesta fundamentada) y las *adversus* (refutación de objeciones), proporcionó una estructura lógica rigurosa para la organización del conocimiento zoológico. En el *De Animalibus* de Alberto Magno, esta metodología se aplicó sistemáticamente al estudio de la fauna, diferenciando entre información transmitida por autoridades clásicas (Plinio, Solino, Eliano) y observaciones empíricas realizadas por el propio investigador (Kitchell & Resnick, 2008). Aunque predominantemente compilador, Alberto introdujo innovaciones metodológicas al verificar mediante experimentación simple —aunque rudimentaria— ciertas creencias zoológicas tradicionales, sentando precedentes para la posterior observación sistemática en historia natural.

La distinción entre *naturales*, *artificiales* y *divinos* constituyó el marco ontológico escolástico para la clasificación de los entes, incluyendo los organismos acuáticos. Alberto Magno, siguiendo a Aristóteles, pero cristianizando la ontología, mantuvo que las naturalezas específicas de los animales acuáticos derivaban de formas sustanciales impresas en la materia por el Creador, operando según leyes causales inmanentes (Wyckoff, 1967). Esta concepción hylomórfica cristianizada permitió estudiar la reproducción, nutrición y comportamiento de peces y mamíferos marinos como procesos naturales regidos por causas segundas, sin necesidad de invocar intervenciones milagrosas para explicar la regularidad biológica. El mundo acuático, desde esta perspectiva, participaba del orden racional divino mediante causas naturales investigables.

La taxonomía escolástica desarrolló sistemas de clasificación que combinaban criterios aristotélicos con necesidades enciclopédicas medievales. Isidoro de Sevilla, en las *Etymologiae*, y posteriormente Tomás de Cantimpré en el *Liber de natura rerum*, organizaron el conocimiento zoológico según principios alfabéticos y temáticos que facilitaban la consulta, pero separaban artificialmente entidades biológicamente relacionadas (De Leemans & Klemm, 2007). Alberto Magno, criticando este enfoque meramente compilador, intentó restaurar el orden natural aristotélico basado en la reproducción (vivíparos versus ovíparos) y la presencia/ausencia de sangre, aunque su *De Animalibus* mantuvo aún la estructura de bestiarios medievales con sus inclusiones fabulosas. Esta tensión entre orden natural y orden didáctico caracterizó la zoología medieval acuática hasta el Renacimiento.

La concepción de las especies naturales (*natural kinds*) en la escolástica medieval estableció las bases epistemológicas para la sistemática biológica posterior. Siguiendo la interpretación tradicional de Aristóteles, los escolásticos consideraron que las especies animales estaban definidas por formas sustanciales fijas y universales, generando interpretaciones esencialistas y fijistas de la biodiversidad (Hacking, 2007/2026). Sin embargo, estudios recientes sobre la biología real de Aristóteles, recuperados por la escolástica, demuestran que el Estagirita reconocía variaciones individuales dentro de las especies atribuibles a diferencias materiales y locales, abriendo espacio para la diversidad intraespecífica observada en poblaciones acuáticas (Godman, 2020). La clasificación escolástica, aunque aparentemente rígida, incorporó mecanismos para explicar la variabilidad fenotípica en organismos marinos.

La integración de la teleología aristotélica con la providencia divina cristiana generó un marco explicativo particular para los fenómenos biológicos acuáticos. Tomás de Aquino, en la *Summa Theologica*, utilizó los cinco argumentos de la causalidad aristotélica —incluyendo el motor inmóvil y la causalidad final— para demostrar racionalmente la existencia de Dios como primer motor y fin último de la naturaleza (Kreeft, 2009). Los organismos

acuáticos, al igual que todos los seres naturales, participaban de esta ordenación teleológica divina, dirigiendo sus operaciones vitales —nutrición, crecimiento, reproducción— hacia fines específicos establecidos por el Creador. Esta síntesis proporcionó justificación teológica para el estudio empírico de la naturaleza, considerado como lectura del libro divino de la creación.

El debate escolástico sobre los universales (*universalia*) tuvo repercusiones directas en la clasificación de los organismos acuáticos. La cuestión de si las especies animales existen como entidades reales (*universalia in re*) o como conceptos mentales (*universalia post rem*) determinó la interpretación de las categorías taxonómicas (Spade, 1994). Los realistas moderados, como Alberto Magno y Tomás de Aquino, sostuvieron que las naturalezas específicas de los peces y aves existen objetivamente en las cosas, aunque nuestras categorías mentales las abstraen incompletamente, permitiendo así una ciencia natural verdadera del mundo biológico marino. Este realismo ontológico fundamentó la pretensión de veracidad de las descripciones zoológicas medievales.

La metodología de la *demonstratio* aristotélica, adaptada por los escolásticos, estableció estándares de rigor para la exposición del conocimiento zoológico. En los comentarios a los *Analytica Posteriora*, los maestros de artes desarrollaron técnicas de definición por género próximo y diferencia específica aplicables a la descripción de animales acuáticos, diferenciando entre la *demonstratio propter quid* (demostración causal) y la *demonstratio quia* (demostración del hecho) (Lennox, 2015). Esta distinción metodológica permitía organizar el tratamiento de la biología marina, separando la mera descripción de hábitats y comportamientos de la explicación causal de dichas características mediante principios naturales. La zoología escolástica, aunque predominantemente teórica, articuló así una epistemología de la clasificación biológica que influenció a Linneo y Cuvier.

La ética de la investigación natural en la escolástica medieval estableció límites para la observación y experimentación con animales acuáticos. Aunque Agustín de Hipona había advertido

contra el conocimiento buscado por sí mismo sin orientación teológica, la *Summa Contra Gentiles* de Aquino legitimó el estudio de la naturaleza como camino hacia el conocimiento del Creador (Pieper, 2009). Sin embargo, la manipulación de animales para fines meramente curiosos requería justificación teleológica; la observación de organismos marinos adquiría valor epistémico cuando contribuía a comprender la sabiduría divina manifestada en la creación. Esta actitud, aparentemente restrictiva, preservó simultáneamente un respeto por la integridad de los seres vivos acuáticos ausente en la experimentación moderna temprana.

La transición de la escolástica al humanismo renacentista transformó los fundamentos de la zoología acuática mediante la recuperación de textos clásicos y el incremento de la observación directa. Los naturalistas del siglo XVI, influidos por el método escolástico pero liberados de sus constricciones teológicas directas, comenzaron a cuestionar sistemáticamente las autoridades medievales mediante la observación empírica de organismos marinos (Hannam, 2010). Guillermo Rondelet, en su *Libri de piscibus marinis* (1554), aplicó métodos de descripción sistemática derivados de la tradición escolástica pero fundamentados en la disección directa de peces, estableciendo una nueva zoología marina que superaba las compilaciones enciclopédicas medievales. Este proceso de secularización progresiva del método escolástico preparó el terreno para la revolución científica experimental.

La herencia escolástica en la filosofía de la biología contemporánea se manifiesta en los debates actuales sobre la naturaleza de los *natural kinds* y el esencialismo biológico. Filósofos de la ciencia como Khalidi (2018) y Ludwig (2018) han retomado las distinciones escolásticas sobre la clasificación natural, argumentando que las categorías biológicas reflejan estructuras causales objetivas en la naturaleza, aunque nuestras sistematizaciones sean convencionales parcialmente. La biología moderna, al clasificar especies de interés comercial, hereda esta tensión entre realismo ontológico (las especies existen independientemente de nuestras clasificaciones) y pragmatismo epistémico (las categorías sirven a propósitos humanos

específicos), herencia directa de los debates escolásticos sobre universales y esencias.

2.3. Aportes fundamentales al método de observación sistemática en biología

La metodología de observación sistemática constituye el pilar epistemológico sobre el cual se construyó la biología occidental, estableciendo la primacía de la experiencia empírica organizada frente a la especulación racionalista desligada de la naturaleza. Aristóteles inauguró esta tradición mediante la compilación del *Historia Animalium*, obra que registra observaciones de más de quinientos tipos de animales, incluyendo especies marinas del Egeo y del Mediterráneo oriental, organizadas según principios de diferenciación múltiple y correlación de caracteres (Tipton, 2014). Este tratado representa la primera aplicación rigurosa del método inductivo a la zoología, donde la acumulación ordenada de datos empíricos precede a la formulación de explicaciones causales generales.

El procedimiento de investigación aristotélico estableció una secuencia metodológica que vincula la percepción sensible con la comprensión racional mediante etapas intermedias de memorización y síntesis. En los *Analytica Posteriora* y el *De Partibus Animalium*, el filósofo distingue entre el conocimiento del hecho (*hoti*), adquirido mediante observación sensible de organismos vivos, y el conocimiento de la razón (*dioti*), alcanzado mediante demostración causal (Shields, 2012). Esta distinción fundó la separación de la historia natural descriptiva de la filosofía natural explicativa, separación que perduró en la tradición biológica hasta el siglo XIX. La observación de que los tiburones de ciertas especies presentan reproducción ovovivípara, documentada en el *Historia Animalium* VI.10, ejemplifica este método de registro empírico previo a la explicación causal.

La práctica de la disección comparada constituyó un avance metodológico decisivo en la constitución de la anatomía científica. Aristóteles realizó disecciones sistemáticas de aproximadamente treinta y cinco especies animales, documentando la anatomía interna de más de cien organismos, incluyendo peces y especies

marinas de la laguna de Pirra (actual Golfo de Kalloni) (Voultsiadou et al., 2017). Estos procedimientos de disección, realizados sin instrumental microscópico pero con rigor sistemático, permitieron establecer homologías estructurales entre especies distantes —como la presencia de corazón en todos los animales sanguíneos— y diferencias específicas adaptativas. El método de disección aristotélico, transmitido a través de Galeno y los médicos árabes, constituyó la base técnica de la anatomía comparada hasta el siglo XVI.

El registro escrito de las observaciones biológicas adquirió en Aristóteles características de sistematicidad y verificabilidad que lo distinguen de las compilaciones anteriores. A diferencia de los bestiarios fabulosos y las *Physiologiae* medievales, las obras zoológicas aristotélicas presentan descripciones detalladas de hábitats, comportamientos y anatomía, referenciando explícitamente las fuentes de información —pescadores, cazadores, observaciones directas— y diferenciando entre testimonios verificados y tradiciones no confirmadas (Lennox, 2015). Este método de documentación crítica, precursor de las notas de campo modernas, estableció estándares de verificabilidad empírica aplicables al estudio de organismos acuáticos en sus contextos naturales.

El desarrollo de la experimentación controlada en biología, iniciado por Aristóteles con sus observaciones sobre el desarrollo embrionario, estableció el paradigma de la intervención sistemática sobre la naturaleza. Mediante la apertura secuencial de huevos de gallina en momentos determinados del desarrollo, el filósofo demostró la secuencia temporal de la diferenciación de órganos, refutando empíricamente las teorías preformacionistas (Föllinger, 2012). Este método de intervención experimental sobre procesos biológicos, aplicado también a la observación de la reproducción de pulpos y calamares en cautiverio, constituyó la primera manifestación de la biología experimental, distinguiendo la mera observación pasiva de la experimentación activa sobre seres vivos.

La taxonomía aristotélica desarrolló métodos de clasificación no dicotómicos basados en la correlación de múltiples caracteres

diferenciales simultáneos. Frente a la división platónica por dicotomías exhaustivas —ala presente/ausente— que fragmentaban grupos naturales, Aristóteles propuso dividir cada diferencia por formas más determinadas de la misma diferencia (alas en tipos de alas, picos en tipos de pico), manteniendo la unidad de los grandes grupos naturales (aves, peces, cetáceos) reconocidos por la percepción común (Leroi, 2014). Este método de clasificación polietética, fundamentado en la observación de que los organismos comparten conjuntos de características coextensivas, anticipó la sistemática numérica moderna y la clasificación fenética en biología acuática.

El método de analogía estructural permitió extender el conocimiento anatómico de especies conocidas a organismos inaccesibles directamente. Aristóteles utilizó sistemáticamente la comparación entre partes análogas —plumas en aves versus escamas en peces— para comprender las adaptaciones funcionales de organismos acuáticos, diferenciando cuidadosamente entre homología por naturaleza común y analogía por función similar (Lennox, 2012). Este método comparativo, aplicado a la interpretación de las branquias versus pulmones, o de las aletas versus patas, estableció la base de la anatomía comparada funcional, esencial para la identificación de especies acuáticas actuales.

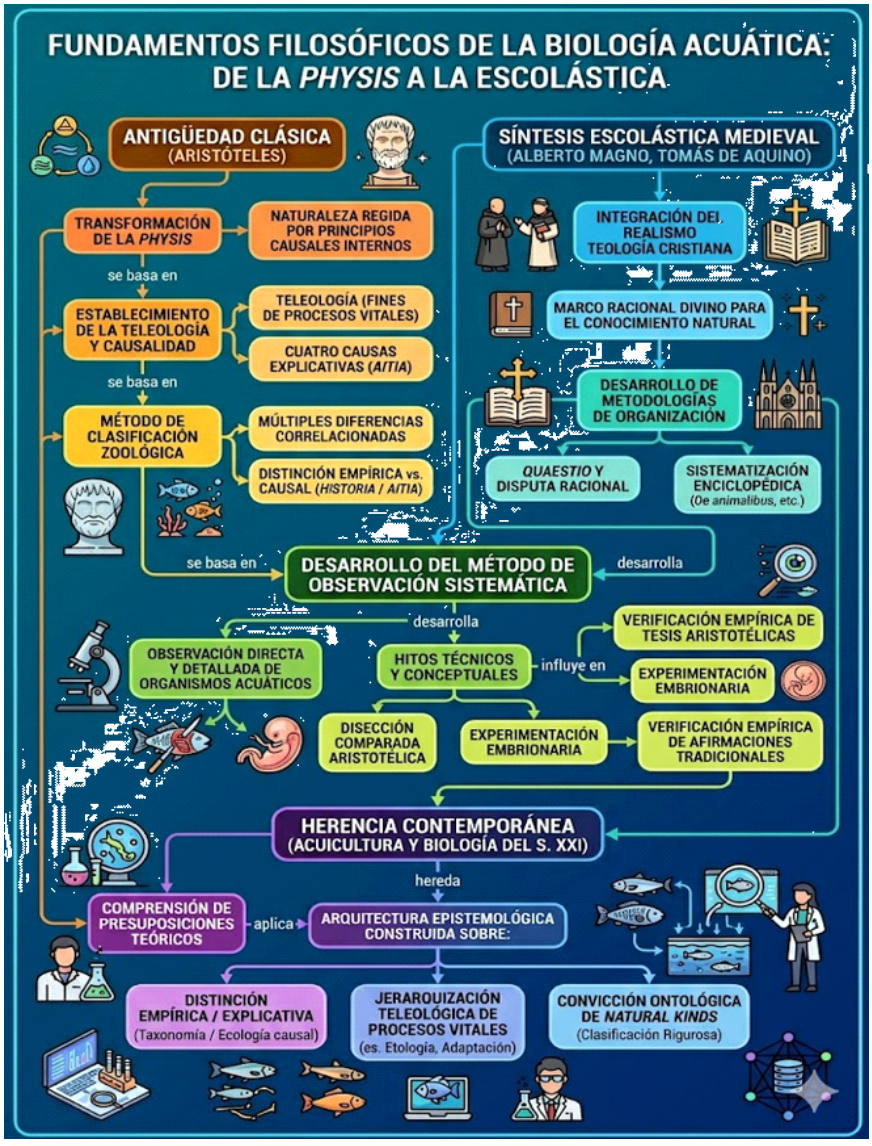
La epistemología de la observación en la tradición aristotélico-escolástica estableció la distinción fundamental entre *experientia* (experiencia empírica acumulativa) y *experimentum* (prueba controlada de hipótesis). Alberto Magno, en sus tratados de mineralogía y zoología, aplicó este método mediante la verificación empírica de afirmaciones tradicionales —aunque sus experimentos, como el uso de arañas para sustituir salamandras, resultasen metodológicamente imperfectos desde la perspectiva actual (Resnick, 2013). Esta actitud de someter las autoridades textuales a verificación mediante la experiencia sensible directa representó un avance metodológico crucial, superando el mero compilacionismo de los bestiarios medievales hacia una actitud protocientífica de cuestionamiento empírico.

La sistematización del conocimiento biológico en obras enciclopédicas estableció formatos de organización del dato empírico que perduraron hasta la revolución científica. La estructura del *Historia Animalium*, organizado según diferencias de partes, comportamientos, reproducción y hábitats, proporcionó un modelo de organización del conocimiento zoológico adoptado por Plinio el Viejo, Isidoro de Sevilla y posteriormente por los naturalistas del Renacimiento (De Leemans & Klemm, 2007). Este formato de tratado zoológico, basado en la observación sistemática y organizado por principios causales, constituyó la matriz epistemológica dentro de la cual la biología acuática desarrolló sus primeros compendios especializados, desde el *Libri de piscibus marinis* de Rondelet hasta las modernas guías de campo de ictiología.

Resumen

Este capítulo examina los fundamentos ontoteológicos y gnoseológicos del pensamiento científico aplicado a la biología acuática, analizando la transición desde la *physis* griega hasta la sistematización escolástica del conocimiento natural. La primera sección desarrolla cómo Aristóteles transformó la concepción mítica del cosmos en una naturaleza regida por principios causales internos, estableciendo la teleología, las cuatro causas explicativas y el método de clasificación por múltiples diferencias correlacionadas, elementos constitutivos de la primera epistemología zoológica sistemática. La segunda sección analiza la síntesis escolástica medieval encarnada en Alberto Magno y Tomás de Aquino, quienes integraron el realismo aristotélico con la teología cristiana, desarrollando metodologías de *quaestio* y sistematización enciclopédica que organizaron el conocimiento sobre organismos acuáticos dentro de un marco racional divino. La tercera sección reconstruye los aportes fundamentales al método de observación sistemática, desde la disección comparada aristotélica hasta la experimentación embrionaria, pasando por la verificación empírica de afirmaciones tradicionales en la escolástica tardía. Conjuntamente, estas perspectivas demuestran que la biología contemporánea hereda una arquitectura epistemológica construida sobre la distinción entre descripción empírica (*historia*) y explicación causal (*aitia*), la jerarquización teleológica de procesos

vitales y la convicción ontológica de que los organismos acuáticos constituyen *natural kinds* susceptibles de clasificación rigurosa. La reconstrucción histórica de estas categorías filosóficas resulta indispensable para comprender las presuposiciones teóricas que aún informan las prácticas taxonómicas, etológicas y epistemológicas de la biología del siglo XXI.


FUNDAMENTOS FILOSÓFICOS DE LA BIOLOGÍA ACUÁTICA: DE LA *PHYSIS* A LA ESCOLÁSTICA
ANTIGÜEDAD CLÁSICA (ARISTÓTELES)
TRANSFORMACIÓN DE LA *PHYSIS*
NATURALEZA REGIDA POR PRINCIPIOS CAUSALES INTERNOS
se basa en
ESTABLECIMIENTO DE LA TELEOLOGÍA Y CAUSALIDAD
TELEOLOGÍA (FINES DE PROCESOS VITALES)
CUATRO CAUSAS EXPLICATIVAS (*AITIA*)
se basa en
MÉTODO DE CLASIFICACIÓN ZOOLÓGICA
MÚLTIPLES DIFERENCIAS CORRELACIONADAS
DISTINCIÓN EMPÍRICA vs. CAUSAL (*HISTORIA / AITIA*)
SÍNTESIS ESCOLÁSTICA MEDIEVAL (ALBERTO MAGNO, TOMÁS DE AQUINO)
INTEGRACIÓN DEL REALISMO TEOLOGÍA CRISTIANA
MARCO RACIONAL DIVINO PARA EL CONOCIMIENTO NATURAL
DESARROLLO DE METODOLOGÍAS DE ORGANIZACIÓN
QUAESTIO Y DISPUTA RACIONAL
SISTEMATIZACIÓN ENCICLOPÉDICA (*De animalibus*, etc.)
se basa en
DESARROLLO DEL MÉTODO DE OBSERVACIÓN SISTEMÁTICA
desarrolla
desarrolla
OBSERVACIÓN DIRECTA Y DETALLADA DE ORGANISMOS ACUÁTICOS
HITOS TÉCNICOS Y CONCEPTUALES
influye en
VERIFICACIÓN EMPÍRICA DE TESIS ARISTOTÉLICAS
EXPERIMENTACIÓN EMBRIONARIA
DISECCIÓN COMPARADA ARISTOTÉLICA
EXPERIMENTACIÓN EMBRIONARIA
VERIFICACIÓN EMPÍRICA DE AFIRMACIONES TRADICIONALES
HERENCIA CONTEMPORÁNEA (ACUICULTURA Y BIOLOGÍA DEL S. XXI)
hereda
COMPRENSIÓN DE PRESUPOSICIONES TEÓRICOS
aplica
ARQUITECTURA EPISTEMOLÓGICA CONSTRUIDA SOBRE:
DISTINCIÓN EMPÍRICA / EXPLICATIVA (Taxonomía / Ecología causal)
JERARQUIZACIÓN TELEOLÓGICA DE PROCESOS VITALES (es. Etología, Adaptación)
CONVICCIÓN ONTOLÓGICA DE *NATURAL KINDS* (Clasificación Rigurosa)

Referencias Bibliográficas

De Leemans, P., & Klemm, M. (2007). Animals and anthropology in medieval philosophy. En B. Resl (Ed.), A Cultural History of Animals in the Medieval Age (pp. 153-177). Oxford: Berg.

Föllinger, S. (2012). Aristotle's biological works as scientific literature. Studies in History and Philosophy of Science Part A, 43(2), 237-244. https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2011.12.001

Godman, M. (2020). The epistemology and morality of human kinds (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315190082

Hacking, I. (2007). Natural kinds: Rosy dawn, scholastic twilight. Royal Institute of Philosophy Supplement, 61, 203-239. https://doi.org/10.1017/S1358246100009802 (Citado en Khalidi, 2018/2026)

Hannam, J. (2010). God's philosophers: How the medieval world laid the foundations of modern science. London: Icon Books.

Khalidi, M. A. (2018). Natural kinds as nodes in causal networks. Synthese. https://doi.org/10.1007/s11229-015-0841-y

Kitchell, K. F., & Resnick, I. M. (Eds.). (2008). Albert the Great: Questions concerning Aristotle's on animals. The Fathers of the Church: Medieval Continuation, 9. Washington, D.C.: CUA Press.

Kreeft, P. (2009). Summa of the Summa. San Francisco: Ignatius Press.

Lennox, J. G. (2012). The complexity of Aristotle's study of animals. En C. Shields (Ed.), The Oxford Handbook of Aristotle (pp. 287-305). Oxford: Oxford University Press.

Lennox, J. G. (2015). Aristotle's philosophy of biology. En E. N. Zalta (Ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2015 Edition). https://plato.stanford.edu/archives/spr2015/entries/aristotle-biology/

Leroi, A. M. (2014). The lagoon: How Aristotle invented science. London: Bloomsbury.

Ludwig, D. (2018). Letting go of 'natural kind': Toward a multidimensional framework of nonarbitrary classification. Philosophy of Science, 85, 31-52. https://doi.org/10.1086/694942

Magner, L. N. (2002). A history of the life sciences (3rd ed.). New York: Marcel Dekker.

Pieper, J. (2009). Guide to Thomas Aquinas. San Francisco: Ignatius Press.

Resnick, I. M. (Ed.). (2013). A companion to Albert the great: Theology, philosophy, and the sciences. Leiden: Brill.

Resnick, I. M., & Kitchell, K. F. (1999). Albert the Great: On animals: A medieval summa zoológica (Vols. 1-2). Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Shields, C. (Ed.). (2012). The Oxford handbook of Aristotle. Oxford: Oxford University Press.

Shoja, M. M., Tubbs, R. S., Loukas, M., & Ardalan, M. R. (2008). The Aristotelian account of "heart and veins". International Journal of Cardiology, 125(3), 304-310. https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2007.03.107

Spade, P. V. (Ed.). (1994). Five texts on the mediaeval problem of universals: Porphyry, Boethius, Abelard, Duns Scotus, Ockham. Indianapolis: Hackett Publishing Co.

Tipton, J. A. (2014). Philosophical biology in Aristotle's parts of animals. Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01421-9

Voultsiadou, E., Gerovasileiou, V., Vandepitte, L., Ganias, K., & Arvanitidis, C. (2017). Aristotle's scientific contributions to the classification, nomenclature and distribution of marine

organisms. Mediterranean Marine Science, 18(3), 468-478. https://doi.org/10.12681/mms.12294

Wyckoff, D. (Trans.). (1967). Albertus Magnus: Book of minerals. Oxford: Clarendon Press.

CAPÍTULO 3
La revolución gnoseológica moderna: racionalidad y experimentación

La revolución gnoseológica moderna: racionalidad y experimentación

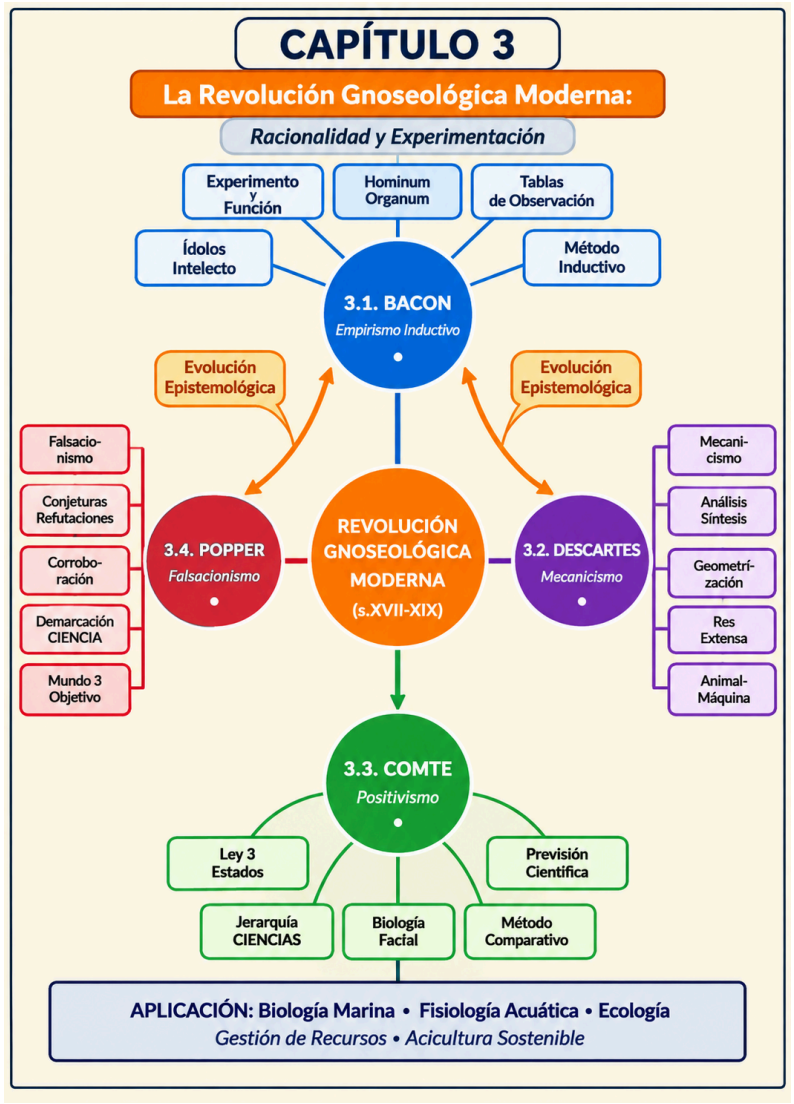
La revolución gnoseológica moderna constituye un punto de inflexión epistemológico fundamental para comprender la configuración del pensamiento científico contemporáneo aplicado a las ciencias biológicas marinas. Este período histórico-abarcador, comprendido entre los siglos XVII y XIX, estableció las bases metodológicas mediante las cuales la investigación acuícola adquirió su estatus científico actual. La transición desde esquemas explicativos metafísicos hacia sistemas de conocimiento fundamentados en la observación empírica y el razonamiento lógico-matemático determinó la forma en que los biólogos marinos abordan actualmente el estudio de los organismos acuáticos (Bourdeau, 2018). La comprensión de esta transición resulta indispensable para el biólogo del siglo XXI, dado que sus prácticas investigativas permanecen condicionadas por estos paradigmas epistemológicos fundacionales (Ludwig et al., 2023).

La gnoseología, entendida como la teoría del conocimiento científico, experimentó durante la modernidad una transformación radical en sus presupuestos ontológicos y metodológicos. El abandono progresivo de la escolástica aristotélica permitió el surgimiento de nuevas formas de interrogar la naturaleza, particularmente relevantes para el estudio de sistemas biológicos complejos como los ecosistemas acuáticos. La pregunta fundamental de cómo se adquiere conocimiento válido sobre los organismos marinos recibió respuestas diversas según las propuestas filosóficas de Bacon, Descartes, Comte y Popper, configurando así tradiciones investigativas distintivas que perviven en la metodología científica actual (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2025). Cada una de estas propuestas aportó elementos distintivos para la configuración de la biología como ciencia empírica, estableciendo criterios de demarcación entre el

conocimiento científico y las especulaciones metafísicas sin fundamento observable.

La tensión dialéctica entre el empirismo inductivista y el racionalismo mecanicista caracterizó el desarrollo epistemológico de las ciencias naturales durante este período. Dicha tensión resulta particularmente evidente en el estudio de organismos acuáticos, donde la complejidad de los procesos biológicos interactúa con la necesidad de explicaciones causales precisas. La observación sistemática de fenómenos marinos exige instrumentación rigurosa, mientras que la comprensión de sus mecanismos internos requiere modelos teóricos abductivos que trasciendan la mera descripción fenomenológica (Fábregas-Tejeda et al., 2025). Esta dualidad metodológica constituye el núcleo epistemológico que el biólogo marino contemporáneo debe dominar para navegar entre la descripción empírica y la explicación teórica de los fenómenos acuáticos.

El positivismo comteano y el falsacionismo popperiano representan las etapas culminantes de esta revolución gnoseológica, estableciendo los criterios actuales de demarcación científica y los protocolos de validación hipotético-deductiva. Estos sistemas filosóficos proporcionaron el marco lógico mediante el cual la biología y la biología marina alcanzaron su madurez científica, pasando de la mera observación naturalista a la experimentación controlada y la formulación de leyes generales. La comprensión filosófica de estas transiciones resulta fundamental para evaluar críticamente las prácticas investigativas actuales en el manejo de organismos acuáticos (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2015). El biólogo del siglo XXI debe reconocer estos fundamentos epistemológicos para posicionar críticamente su labor investigativa dentro de la tradición científica occidental.


CAPÍTULO 3
La Revolución Gnoseológica Moderna:
Racionalidad y Experimentación
Experimento y Función
Hominum Organum
Tablas de Observación
Ídolos Intelecto
Método Inductivo
3.1. BACON
Empirismo Inductivo
Evolución Epistemológica
Evolución Epistemológica
Falsacio-nismo
Conjeturas Refutaciones
Corrobo-ración
Demarcación CIENCIA
Mundo 3 Objetivo
3.4. POPPER
Falsacionismo
REVOLUCIÓN GNOSEOLÓGICA MODERNA
(s.XVII-XIX)
3.2. DESCARTES
Mecanicismo
Mecani-cismo
Análisis Síntesis
Geometrí-zación
Res Extensa
Animal-Máquina
3.3. COMTE
Positivismo
Ley 3 Estados
Previsión Científica
Jerarquía CIENCIAS
Biología Facial
Método Comparativo
APLICACIÓN: Biología Marina • Fisiología Acuática • Ecología
Gestión de Recursos • Acicultura Sostenible

3.1. El empirismo de Bacon y la observación inductiva en biología marina

Francis Bacon (1561-1626) estableció en su *Novum Organum* (1620) los fundamentos del método inductivo que transformaría la investigación científica natural, proporcionando un marco metodológico aplicable al estudio sistemático de los organismos marinos. Su crítica radical al silogismo aristotélico permitió el surgimiento de una epistemología basada en la acumulación metódica de hechos observables mediante experimentación controlada (Bacon, 1620/2000). Esta propuesta resultó particularmente relevante para las ciencias biológicas marinas, dado que la observación directa de organismos acuáticos requiere protocolos sistemáticos que trasciendan la mera descripción anecdótica (Miner, 2023). El método baconiano estableció que el conocimiento válido sobre la naturaleza debe construirse desde la experiencia sensible hacia las generalizaciones teóricas mediante escaladas graduales en la jerarquía conceptual.

El método de las tablas baconianas—tabla de presencia, tabla de ausencia y tabla de grados—proporcionó un protocolo investigativo aplicable al estudio de fenómenos biológicos marinos. Mediante estas tablas, el investigador debe organizar instancias donde determinada naturaleza simple está presente, ausente o varía en intensidad, permitiendo así la eliminación progresiva de hipótesis causales erróneas (Anstey, 2014). En el contexto de la biología marina, este método se traduce en la comparación sistemática de poblaciones acuáticas bajo condiciones ambientales diferentes, permitiendo identificar correlaciones causales entre variables físico-químicas y respuestas biológicas. La rigurosidad de este procedimiento buscaba evitar los *idola* (ídolos) que distorsionan la percepción: ídolos de la tribu, de la caverna, del foro y del teatro (Gaukroger, 2001).

La crítica baconiana a la deducción puramente lógica estableció que el conocimiento científico debe emanar de la interacción práctica con la naturaleza mediante experimentación activa. Bacon distinguía entre experimentos que iluminan (*lucifera*) y experimentos que fructifican (*fructifera*), ambos esenciales para el progreso de la ciencia biológica marina (Lynch, 2001). Los

primeros permiten descubrir causas naturales mediante la variación sistemática de condiciones, mientras que los segundos generan aplicaciones prácticas como el mejoramiento de prácticas acuícolas. Esta distinción resulta fundamental para comprender cómo la investigación básica en biología marina eventualmente genera conocimiento aplicable al manejo sostenible de recursos acuáticos.

El concepto baconiano de *interpretatio naturae* exigía que el investigador proceda desde los fenómenos hacia las leyes naturales mediante una escalada gradual de generalización. Este proceso inductivo evitaba el salto prematuro hacia abstracciones teóricas sin fundamento empírico suficiente (Zagorin, 1998). En el ámbito de la biología marina, esto se traduce en la necesidad de acumular extensos registros de observaciones sobre comportamientos, distribuciones y fisiología de organismos acuáticos antes de proponer hipótesis explicativas generales. La práctica de la natural history —tan característica de la biología marina del siglo XIX— encuentra aquí su justificación epistemológica fundamental.

La analogía baconiana de las abejas, opuesta tanto a las arañas (metafísicos especulativos) como a las hormigas (empíricos acumulativos sin teoría), encapsula el ideal del biólogo marino moderno. Este debe recoger sistemáticamente datos empíricos mediante observación y experimentación, pero simultáneamente elaborar estructuras teóricas que ordenen dichos conocimientos (Jalobeanu, 2015). La investigación acuícola contemporánea refleja este ideal mediante la combinación de monitoreos de campo (colección de datos) y modelado teórico (construcción explicativa), buscando siempre la utilidad práctica del conocimiento generado para el beneficio humano.

El empirismo baconiano estableció que la observación debe ser intersubjetivamente verificable y sistemáticamente documentada, criterios fundamentales para la investigación biológica marina moderna. La repetibilidad de los experimentos y la precisión en la descripción de condiciones observacionales constituyen legados directos de esta epistemología (Rees, 2000). Cuando un investigador acuícola documenta parámetros físico-químicos del

agua junto con mediciones biológicas, está aplicando principios derivados del método baconiano de las tablas de presencia y ausencia, buscando correlaciones invariantes entre variables.

La distinción entre *facta* y *interpretatio* en el sistema baconiano exige que el investigador separe cuidadosamente los hechos observados de las inferencias teóricas elaboradas sobre ellos. Esta separación resulta particularmente relevante en el estudio de ecosistemas acuáticos, donde la complejidad de interacciones ecológicas puede inducir a conclusiones apresuradas sin fundamento empírico suficiente (Rossi, 2001). El registro meticuloso de datos de campo mediante instrumentación estandarizada constituye la aplicación práctica de este principio epistemológico en la biología marina contemporánea.

El método inductivo baconiano enfrentó críticas posteriores —particularmente por parte de Popper— respecto a la imposibilidad lógica de derivar generalizaciones universales a partir de instancias particulares. No obstante, su legado permanece en la enfatización de la experimentación controlada y la acumulación sistemática de datos como fundamentos del conocimiento biológico (Kivotidis, 2024). La práctica de establecer controles experimentales y réplicas en estudios acuáticos refleja la preocupación baconiana por eliminar fuentes de error en la inducción empírica.

La aplicación del empirismo baconiano a la biología marina implica que el conocimiento sobre organismos acuáticos debe construirse mediante la interacción directa con estos sistemas, no mediante especulación *a priori*. El investigador debe someterse a la disciplina de la observación sistemática, registrando meticulosamente los fenómenos naturales sin imponer prejuicios teóricos (Solomon, 1998). Esta actitud epistemológica fundamentó la transición de la historia natural hacia la biología experimental marina durante los siglos XVIII y XIX, estableciendo protocolos de investigación de campo que persisten en la actualidad.

El concepto de *forma* (causa inmanente) en el sistema baconiano, equivalente a la ley natural que rige un fenómeno, estableció el objetivo último de la investigación científica: descubrir las leyes invariantes que rigen los procesos naturales. En el

contexto acuícola, esto se traduce en la búsqueda de regularidades estadísticas en el crecimiento, reproducción y supervivencia de organismos acuáticos bajo condiciones controladas (Waters, 2017). El éxito de la biología intensiva depende precisamente de haber identificado mediante observación inductiva las condiciones físico-químicas y biológicas óptimas para cada especie cultivada.

La crítica baconiana a los *idola tribus*—prejuicios comunes a la naturaleza humana—resulta particularmente relevante para la investigación biológica marina, donde la complejidad de los sistemas acuáticos puede inducir a inferencias causales espurias. La tendencia humana a percibir patrones donde no existen o a confirmar expectativas preexistentes debe ser contrarrestada mediante protocolos experimentales rigurosos (Urbach, 1987). El diseño experimental con controles adecuados en estudios de fisiología de peces o dinámica de poblaciones marinas constituye la herencia directa de esta preocupación epistemológica.

El énfasis baconiano en la utilidad práctica del conocimiento científico —capturado en su máxima *scientia potentia est* (el conocimiento es poder)— justifica la orientación aplicada de gran parte de la investigación acuícola contemporánea. El estudio de organismos marinos no se justifica meramente por su valor gnoseológico intrínseco, sino por su potencial para mejorar el manejo de recursos acuáticos y desarrollar técnicas de cultivo sostenibles (Peltonen, 2002). Esta instrumentalización del conocimiento biológico, aunque criticada por algunos enfoques contemporáneos, encuentra su raíz histórica en la propuesta baconiana de dominar la naturaleza mediante el entendimiento científico.

3.2. El racionalismo cartesiano y el modelo mecanicista del organismo acuático

René Descartes (1596-1650) estableció en su *Discurso del Método* (1637) y *Tratado del Hombre* (póstumo, 1664) los fundamentos del mecanicismo biológico que transformaría la comprensión filosófica de los organismos vivos, incluyendo los acuáticos. Su reducción de los fenómenos biológicos a interacciones geométrico-mecánicas de partículas materiales proporcionó un

modelo explicativo alternativo a la concepción aristotélica de almas vegetativa y sensible (Descartes, 1664/1996). Este paradigma resultó particularmente aplicable al estudio de organismos acuáticos, donde los procesos fisiológicos como la circulación, respiración branquial y locomoción nadadora admitían descripción mediante leyes físico-mecánicas (Hatfield, 2008). El animal acuático cartesiano se concibe como una máquina compuesta por órganos y tubos interconectados, cuyo funcionamiento obedece a principios hidráulicos y mecánicos explicables sin recurrir a fuerzas vitales misteriosas.

La teoría cartesiana de la circulación sanguínea, desarrollada en la *Descripción del Cuerpo Humano* y aplicable analógicamente a peces y otros organismos acuáticos con sistemas circulatorios, ilustra el mecanicismo descartiano. Descartes explicaba el movimiento del corazón y la circulación mediante el calor cardíaco que expandía la sangre, impulsándola a través de un sistema de tuberías (vasos) de manera completamente mecánica (Fuchs, 2001). En organismos acuáticos, este modelo se extendía para comprender la irrigación branquial y la distribución de nutrientes mediante flujos hidrodinámicos regidos por presiones y resistencias. La explicación mecanicista buscaba reducir todos los fenómenos vitales a configuraciones geométricas de partículas en movimiento, eliminando así las explicaciones teleológicas aristotélicas.

El concepto de *animal machine* (máquina animal) cartesiano implicaba que los organismos no humanos, incluyendo todos los organismos acuáticos desde protozoarios hasta peces, carecen de alma racional y operan exclusivamente mediante mecanismos físicos. Esta concepción permitió el desarrollo de la fisiología experimental, dado que los procesos biológicos podían investigarse como si se tratara de máquinas complejas susceptibles de descomposición analítica (Cottingham, 1998). La investigación acuícola contemporánea, particularmente en áreas como la biomecánica de la natación o la fisiología de la respiración acuática, hereda esta tradición mecanicista al modelar los organismos como sistemas físico-químicos obedientes a leyes naturales universales.

El método cartesiano de análisis-síntesis, aplicado a los organismos biológicos, exige descomponer el fenómeno vital en sus partes más simples para luego recomponerlo explicativamente. En el estudio de organismos acuáticos, esto se traduce en la reducción del organismo a los subsistemas funcionales: digestivo, respiratorio, circulatorio, reproductivo, cada uno analizable mecánicamente (Des Chene, 2001). La biología marina moderna, con su énfasis en la fisiología comparada y la bioquímica de organismos acuáticos, refleja esta herencia epistemológica al buscar explicaciones reduccionistas de los fenómenos vitales en términos de interacciones moleculares y celulares.

La física cartesiana, basada en la extensión como única propiedad fundamental de la materia, proporcionó el marco ontológico para el mecanicismo biológico. Los organismos acuáticos, según esta concepción, son agregados de corpúsculos organizados espacialmente cuyas interacciones obedecen a leyes geométricas de movimiento y colisión (Garber, 1992). Esta reducción ontológica permitió la matematización de la biología, facilitando el desarrollo de modelos cuantitativos en ecología acuática y fisiología de organismos marinos que persisten en la investigación contemporánea.

El problema de la vida en Descartes —es decir, cómo distinguir un cuerpo vivo de uno inerte si ambos son meras extensiones materiales— encontró respuesta en la noción de *máquina autorregulada* mantenida por un principio interno de movimiento (calor cardíaco en animales). Los organismos acuáticos mantienen su organización mediante procesos metabólicos que, aunque mecánicos, permiten la autoconservación frente a la entropía ambiental (Ablondi, 1998). Esta concepción anticipa conceptos contemporáneos de homeostasis y termodinámica de sistemas abiertos, fundamentales para comprender la fisiología de organismos en ambientes acuáticos variables.

La distinción cartesiana entre *res cogitans* (sustancia pensante) y *res extensa* (sustancia extendida) relegó a los organismos acuáticos al ámbito exclusivo de la extensión material, privándolos de estatus ontológico de agentes conscientes. Aunque esta posición

fue posteriormente criticada por ignorar la riqueza conductual y adaptativa de animales acuáticos, proporcionó un marco para estudiar objetivamente sus comportamientos sin antropomorfismo (Harrison, 1992). La etología contemporánea de organismos marinos, con su énfasis en descripción objetiva de comportamientos, hereda esta actitud epistemológica aunque haya abandonado las premisas metafísicas dualistas.

El modelo mecanicista cartesiano enfrentó dificultades explicativas respecto a la integración orgánica y la reproducción, fenómenos que parecían resistir reducción puramente mecánica. No obstante, su legado metodológico persistió en la insistencia de que los fenómenos biológicos deben explicarse mediante causas eficientes físico-químicas, no mediante finalidades o fuerzas vitales (Gaukroger, 2002). La biología molecular actual, aplicada al estudio de mecanismos de desarrollo embrionario en organismos acuáticos modelo (*Danio rerio*, *Xenopus*), refleja esta determinación explicativa de reducir lo vital a interacciones mecánicas de macromoléculas.

La geometrización de la biología propuesta por Descartes implicaba que las explicaciones biológicas debían alcanzar el rigor demostrativo de las matemáticas. Aunque esto resultó imposible de cumplir completamente en la práctica investigativa, estableció un ideal de precisión cuantitativa que guía la investigación biológica marina contemporánea (Manning, 2012). El uso de modelos matemáticos en dinámica de poblaciones marinas, biometría de crecimiento en biología y biofísica de sistemas acuáticos constituye la realización histórica de este programa cartesiano.

La teoría de los *espíritus animales* (partículas sutiles del cerebro que median entre estímulos y respuestas musculares) proporcionó un mecanismo físico para explicar el comportamiento animal, incluyendo el de organismos acuáticos. Esta concepción, aunque posteriormente superada por la neurofisiología moderna, estableció la tradición de buscar bases materiales para la conducta, rechazando explicaciones psicológicas antropomórficas (Shapiro, 2003). El estudio contemporáneo de neurobiología de peces y cefalópodos, con su énfasis en circuitos neuronales y

neurotransmisores, desciende directamente de este programa mecanicista.

La teleología en Descartes resulta problemática, dado que rechazó las causas finales en física mientras pareció admitir funciones biológicas (latido cardíaco para calentar sangre, estructuras para nutrición). Esta tensión se resolvió mediante una teleología *descriptiva* que caracteriza funciones sin implicar propósitos conscientes (Detlefsen, 2015). En biología marina, esto permite describir adaptaciones (aletas para nadar, branquias para respirar) sin atribuir intencionalidad a los organismos acuáticos, manteniendo el rigor científico de las explicaciones funcionales en ecología y fisiología evolutiva.

La crítica histórica al mecanicismo cartesiano señaló su incapacidad para dar cuenta de la unidad orgánica y la emergencia de propiedades biológicas. Sin embargo, su contribución epistemológica permanece en la insistencia de que los fenómenos vitales, por complejos que sean, deben investigarse mediante métodos físico-matemáticos sin recurrir a entidades metafísicas ocultas (Brown, 2011). La biología de sistemas aplicada a organismos acuáticos, con su modelado matemático de redes metabólicas y regulatorias, representa la culminación contemporánea de este proyecto mecanicista ampliado mediante herramientas computacionales.

3.3. El positivismo de Comte y la configuración de la biología como ciencia factual

Auguste Comte (1798-1857) estableció en su *Curso de Filosofía Positiva* (1830-1842) el marco epistemológico mediante el cual la biología adquirió su estatus de ciencia factual positiva, distinta tanto de la especulación metafísica como de la explicación teológica. Su *Ley de los Tres Estados* postulaba que el conocimiento humano progresa inevitablemente desde la etapa teológica (explicaciones sobrenaturales), pasando por la metafísica (fuerzas abstractas), hasta alcanzar la etapa positiva (observación de leyes invariantes) (Comte, 1830/1988). Esta transición epistemológica resultó fundamental para la biología marina, que durante el siglo XIX alcanzó su madurez científica abandonando explicaciones

vitalistas por descripciones empíricas de leyes naturales. La observación sistemática de organismos acuáticos pasó a considerarse el único fundamento válido del conocimiento biológico.

La clasificación comteana de las ciencias en jerarquía ascendente de complejidad —matemática, astronomía, física, química, biología (fisiología), sociología— estableció la posición epistemológica de la biología como ciencia de transición entre los fenómenos inorgánicos y los sociales. Comte argumentaba que cada ciencia depende de las anteriores en la jerarquía pero desarrolla leyes propias irreducibles a las de niveles inferiores (Bourdeau, 2018). Para la biología marina, esto implicaba que el estudio de organismos acuáticos debía fundamentarse en química y física, pero desarrollar métodos específicos (comparación de estructuras, estudio de funciones vitales) apropiados a la complejidad de los seres vivos. Esta autonomía metodológica permitió el desarrollo de la biología como disciplina científica independiente.

El método positivo, según Comte, adopta formas diferentes según la ciencia: observación en astronomía, experimentación en física, comparación en biología. Este último método resultó decisivo para la biología marina, dado que la diversidad de formas de vida acuática exige comparación sistemática para establecer clasificaciones taxonómicas y relaciones de parentesco (Wozniak, 2020). La anatomía comparada de organismos marinos, desarrollada durante el siglo XIX, aplicaba directamente este precepto comteano al comparar estructuras homólogas entre diferentes especies acuáticas para inferir relaciones filogenéticas y funciones biológicas.

Comte postulaba que en la etapa positiva el conocimiento se limita a establecer relaciones invariantes entre fenómenos observables, abandonando la búsqueda de causas últimas o esencias ocultas. Esta restricción epistemológica implicaba que la biología marina debía contentarse con describir leyes de desarrollo, reproducción y adaptación sin pretender explicar el "principio vital" subyacente (Pickering, 1993). El éxito de la biología evolutiva y ecológica marina durante el siglo XIX y XX se fundamentó

precisamente en esta aceptación de que la ciencia describe regularidades empíricas, no revela esencias metafísicas de la vida acuática.

La doctrina de la *filiación de las ciencias* comteana establecía que cada disciplina científica se fundamenta en las leyes de las ciencias precedentes en la jerarquía. La biología, por tanto, debía integrar principios físico-químicos pero desarrollar conceptos propios como organización, función y adaptación aplicables a organismos acuáticos (Schmaus, 1982). Esta dependencia jerárquica explicaba por qué el progreso de la biología marina estaba condicionado por avances en química orgánica y biofísica, manteniendo simultáneamente su especificidad disciplinaria mediante categorías conceptuales apropiadas a los sistemas vivos.

El positivismo comteano enfatizaba la previsión (*prevision*) como objetivo del conocimiento científico: conocer las leyes naturales permite anticipar fenómenos futuros y controlarlos tecnológicamente. En biología marina, esto se tradujo en el desarrollo de modelos predictivos de dinámica poblacional, migraciones de especies acuáticas y respuestas a cambios ambientales (Heilbron, 1995). La biología moderna, con su dependencia de modelos predictivos de crecimiento y producción, refleja directamente este legado comteano de instrumentalización del conocimiento biológico para el control técnico de los procesos vitales.

La sociología comteana, coronando la jerarquía científica, debía aplicar métodos positivistas al estudio de la sociedad humana, incluyendo las actividades humanas relacionadas con los recursos acuáticos. Esto implicaba que la explotación de recursos marinos, la biología y la gestión pesquera debían fundamentarse en leyes sociales descubiertas mediante observación sistemática, no en dogmas tradicionales o especulaciones filosóficas (Turner, 2001). Las ciencias de la pesca y la gestión de ecosistemas acuáticos contemporáneas, con su énfasis en datos empíricos y modelado predictivo, heredan esta orientación positivista hacia la planificación científica de la actividad humana.

Comte distingue entre *estática social* (estudio de las leyes de orden) y *dinámica social* (estudio de las leyes de progreso), analogía extendida a los sistemas biológicos. En biología marina, esto corresponde a la distinción entre ecología (estudio de las relaciones estables entre organismos acuáticos y su ambiente) y evolución (estudio de los cambios en las formas de vida acuática a través del tiempo) (Wright, 1986). Esta bipartición conceptual, derivada del sistema comteano, estructura todavía la organización disciplinaria de la biología marina contemporánea.

La crítica histórica al positivismo comteano señaló su determinismo excesivo y su reduccionismo potencial de lo complejo a lo simple. No obstante, su contribución epistemológica fundamental consistió en establecer criterios claros de demarcación entre ciencia y no ciencia, entre conocimiento factual y especulación metafísica (Lenzer, 1975). La biología marina, al afirmar su estatus científico mediante la publicación de resultados empíricos verificables y la exclusión de explicaciones sobrenaturales, aplica estos criterios demarcacionistas heredados del positivismo.

El lema comteano *savoir pour prévoir, prévoir pour pouvoir* (conocer para prever, prever para poder) encapsula la instrumentalización del conocimiento biológico aplicado a organismos acuáticos. La investigación acuícola contemporánea busca explícitamente predecir rendimientos de cultivo, enfermedades y respuestas al estrés ambiental para controlar técnicamente los sistemas de producción (Simon, 1963). Esta orientación práctica, aunque criticada por enfoques puramente descriptivistas, encuentra su justificación histórica en el programa positivista de subordinar el conocimiento a la acción transformadora.

3.4. La crítica popperiana al inductivismo y el falsacionismo en la investigación acuícola

Karl Popper (1902-1994) estableció en *La Lógica de la Investigación Científica* (1934/1959) una crítica radical al inductivismo baconiano y al positivismo verificacionista, proponiendo el falsacionismo como criterio de demarcación entre

ciencia y no ciencia. Su argumento central sostenía que la verificación completa de teorías universales mediante instancias particulares es lógicamente imposible, dado que las generalizaciones científicas trascienden el conjunto finito de observaciones disponibles (Popper, 1959/2002). En cambio, propuso que una teoría es científica solo si es falsable; es decir, si existe algún evento observable que, de ocurrir, la refutaría. Esta propuesta epistemológica transformó radicalmente la comprensión de la metodología científica aplicable a la investigación biológica marina.

El problema de la inducción, formulado clásicamente por Hume y retomado por Popper, establece que no existe justificación lógica para inferir leyes universales a partir de conjuntos finitos de observaciones. No importa cuántos cisnes blancos se observen, la generalización "todos los cisnes son blancos" nunca queda verificada definitivamente; basta un cisne negro para falsarla (Okasha, 2016). Esta crítica resulta particularmente relevante para la biología marina, donde las generalizaciones sobre comportamientos, distribuciones o fisiologías de organismos acuáticos se basan necesariamente en muestras finitas de observaciones. El biólogo marino debe reconocer que sus teorías permanecen permanentemente provisionales, susceptibles de refutación por nuevas evidencias.

El falsacionismo popperiano propone que el progreso científico ocurre mediante el ciclo de *conjeturas y refutaciones*: los científicos proponen teorías audaces que implican predicciones riesgosas, y luego intentan refutarlas mediante experimentación crítica. Las teorías que sobreviven a intentos rigurosos de falsación adquieren *corroboración*, un estatus provisional de mayor confiabilidad, sin alcanzar nunca la verificación definitiva (Thornton, 2018). En investigación acuícola, implica que hipótesis sobre optimización de dietas, condiciones de cultivo o tratamientos sanitarios deben formularse de modo que admitan pruebas potencialmente refutadoras, no meramente confirmatorias.

La distinción popperiana entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación establece que la génesis psicológica de las

teorías (intuición, creatividad) carece de lógica formal, mientras que su evaluación racional sí procede lógicamente mediante pruebas de falsación. Esto libera al investigador acuícola de la obligación de justificar inductivamente el origen de sus hipótesis, permitiendo conjeturas audaces sobre mecanismos biológicos que luego serán sometidas a prueba crítica (Lakatos, 1978). La investigación biotecnológica marina, con su dependencia de innovaciones teóricas no siempre derivadas inductivamente de datos previos, se beneficia de esta comprensión ampliada del proceso de descubrimiento científico.

El criterio de demarcación popperiano permite distinguir la ciencia propiamente dicha de las pseudociencias según la susceptibilidad a la refutación empírica. Las teorías científicas arriesgan sus predicciones; las pseudociencias immunizan sus enunciados contra la refutación mediante auxiliares *ad hoc* (Popper, 1963). En biología marina, esto exige que, hipótesis sobre efectos de cambio climático en poblaciones acuáticas, impactos de contaminantes o eficacia de medidas de conservación, especifiquen condiciones observacionales que, de no cumplirse, refutarían la teoría. La vaguedad interpretativa que evade la confrontación empírica constituye una desviación del estándar científico popperiano.

La noción de *mundo 3* popperiana —el universo de los productos objetivos del pensamiento humano, incluyendo teorías científicas, problemas y argumentos— proporciona un marco para comprender la objetividad del conocimiento biológico independientemente de las creencias subjetivas de los investigadores. Las teorías acuícolas, una vez publicadas, se convierten en entidades *mundo 3* evaluables objetivamente por la comunidad científica según criterios de falsabilidad y corroboración (Popper, 1972). Esto garantiza que el progreso en comprensión de organismos acuáticos dependa de la crítica racional colectiva, no de la autoridad individual o la tradición académica.

La crítica de Lakatos al falsacionismo ingenuo señaló que las teorías científicas nunca se prueban aisladamente, sino como parte de *programas de investigación* que incluyen un núcleo duro de

hipótesis fundamentales protegidas por un cinturón de auxiliares modificables. La refutación aparente de una predicción puede resolverse ajustando auxiliares sin abandonar el núcleo teórico (Lakatos, 1970). En biología marina, esto explica por qué teorías fundamentales sobre ecología o fisiología de peces persisten a pesar de anomalías observacionales, mientras se ajustan hipótesis auxiliares sobre mecanismos específicos. La evaluación racional concierne al progreso o degeneración del programa completo, no a la falsación instantánea de hipótesis individuales.

El problema de Quine-Duhem —que las hipótesis nunca enfrentan el tribunal de la experiencia aisladamente, sino junto con supuestos auxiliares, teorías de instrumentación y condiciones iniciales— complica el falsacionismo popperiano. La refutación de una predicción no indica lógicamente qué elemento del conjunto teórico debe rechazarse (Gillies, 1993). En la práctica acuícola, cuando un experimento de cultivo falla, el investigador debe decidir si la refutación afecta la hipótesis biológica central, las condiciones del laboratorio, los instrumentos de medición o supuestos teóricos auxiliares. Este holismo de la prueba exige juicio racional que trasciende la mera aplicación mecánica del criterio falsacionista.

El falsacionismo popperiano, aunque revisado por posteriores desarrollos en filosofía de la ciencia, mantiene su relevancia metodológica como ideal regulativo de la investigación científica. La insistencia en formular hipótesis susceptibles de refutación empírica y someterlas a prueba crítica rigurosa distingue la investigación científica genuina de la especulación inmune a la evidencia (Zahar, 2001). La investigación acuícola contemporánea, con su énfasis en diseños experimentales con controles adecuados, réplicas independientes y publicación de resultados negativos, refleja la internalización de estos estándares falsacionistas en la práctica científica marina.

El concepto de *verisimilitud* (semejanza a la verdad) popperiano ofrece una concepción del progreso científico compatible con el falibilismo: las teorías refutadas pueden ser más cercanas a la verdad que sus predecesoras si capturan más verdades y menos falsedades sobre la realidad. Esto permite reconocer progreso en

biología marina aun cuando teorías específicas son abandonadas: cada refutación genera teorías mejor corroboradas sobre los organismos acuáticos (Nimiluoto, 1987). La historia de la oceanografía y la biología marina ilustra este progreso mediante refutaciones sucesivas de hipótesis sobre circulación oceánica, migraciones de especies o mecanismos de adaptación acuática.

La metodología de investigación acuícola contemporánea integra elementos falsacionistas en su diseño experimental estándar: formulación de hipótesis nulables, establecimiento de condiciones de refutación empírica, control de variables confundidoras, réplica para verificar reproducibilidad. Estos protocolos, aunque desarrollados independientemente de la lectura directa de Popper, reflejan la internalización histórica del falsacionismo en la metodología científica estándar (Mayo, 1996). El investigador acuícola del siglo XXI, al diseñar experimentos susceptibles de refutar hipótesis sobre nutrición, salud o genética de organismos cultivados, aplica conscientemente o no estos principios epistemológicos.

La tensión entre el falibilismo popperiano y la necesidad de actuar sobre bases científicas en gestión de recursos acuáticos genera desafíos epistemológicos prácticos. Si todas las teorías son provisionales y susceptibles de refutación futura, ¿sobre qué bases científicas fundamentar decisiones de manejo pesquero o sanitario acuícola? Popper respondió que la acción racional debe basarse en las teorías mejor corroboradas disponibles, aun reconociendo su falibilidad (Popper, 1945). Esta actitud crítico-racionalista permite la toma de decisiones fundamentadas sin caer en dogmatismos científicos ni escepticismos paralizantes respecto al conocimiento biológico-marino.

Resumen

Este capítulo examina completa y exhaustivamente la revolución gnoseológica moderna fundamentadora del pensamiento científico correspondiente aplicado a mismos organismos acuáticos. Propiamente dicha transformación epistemológica estableció tales protocolos metodológicos mediante los cuales toda la biología

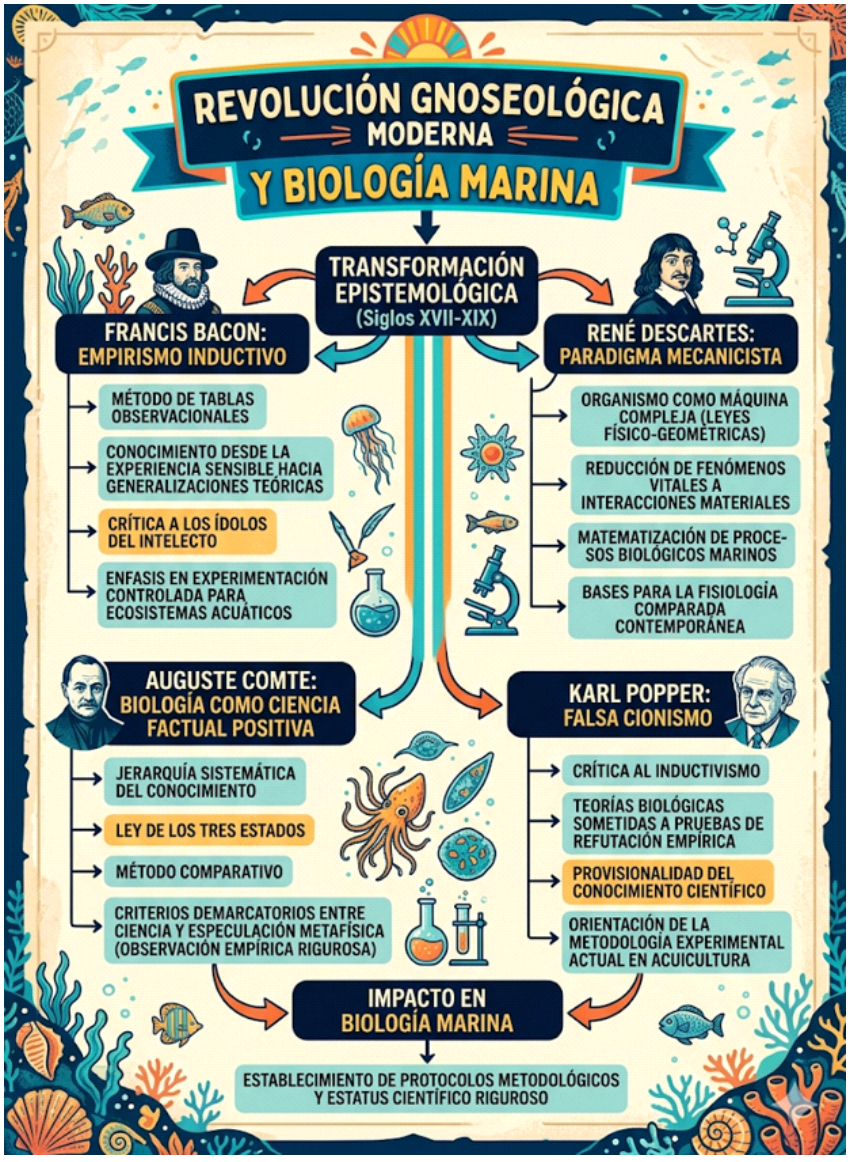
marina alcanzó estatus científico riguroso durante los respectivos siglos XVII al XIX.

Francis Bacon fundamentó el empirismo inductivo mediante su método de tablas observacionales, estableciendo que el conocimiento biológico debe construirse desde la experiencia sensible hacia generalizaciones teóricas. Su crítica a los ídolos del intelecto y su énfasis en la experimentación controlada proporcionaron diferentes bases metodológicas para la observación sistemática de ecosistemas acuáticos.

René Descartes estableció el paradigma mecanicista mediante la concepción del organismo como máquina compleja regida por leyes físico-geométricas. Su reducción de los fenómenos vitales a interacciones materiales permitió la matematización de procesos biológicos marinos, sentando bases para la fisiología comparada contemporánea.

Auguste Comte configuró la biología como ciencia factual positiva dentro de su jerarquía sistemática del conocimiento. Su ley de los tres estados y su método comparativo establecieron criterios demarcatorios entre ciencia y especulación metafísica, fundamentando la observación empírica rigurosa.

Karl Popper, mediante su crítica al inductivismo y la propuesta falsacionista, transformó la epistemología científica al establecer que las teorías biológicas deben someterse a pruebas de refutación empírica. Su enfatización en la provisionalidad del conocimiento científico orienta la metodología experimental actual en biología.


REVOLUCIÓN GNOSEOLÓGICA MODERNA
Y BIOLOGÍA MARINA
TRANSFORMACIÓN EPISTEMOLÓGICA
(Siglos XVII-XIX)
FRANCIS BACON:
EMPIRISMO INDUCTIVO
MÉTODO DE TABLAS OBSERVACIONALES
CONOCIMIENTO DESDE LA EXPERIENCIA SENSIBLE HACIA GENERALIZACIONES TEÓRICAS
CRÍTICA A LOS ÍDOLOS DEL INTELECTO
ENFASIS EN EXPERIMENTACIÓN CONTROLADA PARA ECOSISTEMAS ACUÁTICOS
RENÉ DESCARTES:
PARADIGMA MECANICISTA
ORGANISMO COMO MÁQUINA COMPLEJA (LEYES FÍSICO-GEOMÉTRICAS)
REDUCCIÓN DE FENÓMENOS VITALES A INTERACCIONES MATERIALES
MATEMATIZACIÓN DE PROCESOS BIOLÓGICOS MARINOS
BASES PARA LA FISIOLOGÍA COMPARADA CONTEMPORÁNEA
AUGUSTE COMTE:
BIOLOGÍA COMO CIENCIA FACTUAL POSITIVA
JERARQUÍA SISTEMÁTICA DEL CONOCIMIENTO
LEY DE LOS TRES ESTADOS
MÉTODO COMPARATIVO
CRITERIOS DEMARCATORIOS ENTRE CIENCIA Y ESPECULACIÓN METAFÍSICA (OBSERVACIÓN EMPÍRICA RIGUROSA)
KARL POPPER:
FALSA CIONISMO
CRÍTICA AL INDUCTIVISMO
TEORÍAS BIOLÓGICAS SOMETIDAS A PRUEBAS DE REFUTACIÓN EMPÍRICA
PROVISIONALIDAD DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO
ORIENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL ACTUAL EN ACUICULTURA
IMPACTO EN
BIOLOGÍA MARINA
ESTABLECIMIENTO DE PROTOCOLOS METODOLÓGICOS Y ESTATUS CIENTÍFICO RIGUROSO

Referencias Bibliográficas

Ablondi, F. (1998). Automata, living and non-living: Descartes' mechanical biology and his criteria for life. Biology and Philosophy, 13(2), 179-186. https://doi.org/10.1023/A:1006555224626

Anstey, P. R. (2014). Philosophy of experiment in early modern England: The case of Bacon, Boyle and Hooke. Early Science and Medicine, 19(2), 103-132. https://doi.org/10.1163/15733823-00192p01

Bacon, F. (1620/2000). The new organon (L. Jardine & M. Silverthorne, Eds.). Cambridge University Press.

Bourdeau, M. (2018). Auguste Comte. In The Stanford encyclopedia of philosophy (Fall 2018 ed.). https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/comte/

Brown, D. J. (2011). Cartesian functional analysis. Australasian Journal of Philosophy, 90(1), 75-92. https://doi.org/10.1080/00048402.2011.557750

Comte, A. (1830/1988). Introduction to positive philosophy (F. Ferre, Ed.). Hackett Publishing.

Cottingham, J. (1998). Descartes on animals. The Philosophical Quarterly, 42(167), 219-227. https://doi.org/10.2307/2220305

Des Chene, D. (2001). Spirits and clocks: Machine and organism in Descartes. Cornell University Press.

Detlefsen, K. (2015). Descartes on the theory of life and methodology in the life sciences. In P. Distelzweig, B. Goldberg, & E. Ragland (Eds.), Early modern medicine and natural philosophy (pp. 147-173). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7353-4_7

Fábregas-Tejeda, A., Baedke, J., Prieto, G. I., & Radick, G. (Eds.). (2025). The riddle of organismal agency: New historical and philosophical reflections. Routledge.

Fuchs, T. (2001). The mechanization of the heart: Harvey and Descartes (M. Grene, Trans.). University of Rochester Press.

Garber, D. (1992). Descartes' metaphysical physics. University of Chicago Press.

Gaukroger, S. (2001). Francis Bacon and the transformation of early-modern philosophy. Cambridge University Press.

Gaukroger, S. (2002). Descartes' system of natural philosophy. Cambridge University Press.

Gillies, D. (1993). Philosophy of science in the twentieth century: Four central themes. Blackwell.

Harrison, P. (1992). Descartes on animals. The Philosophical Quarterly, 42(167), 219-227.

Hatfield, G. (2008). Descartes on animals. In J. Broughton & J. Carriero (Eds.), A companion to Descartes (pp. 404-425). Wiley-Blackwell.

Heilbron, J. L. (1995). The rise of social theory. University of Minnesota Press.

Jalobeanu, M. (2015). The Oxford handbook of British philosophy in the seventeenth century. Oxford University Press.

Kivotidis, D. (2024). Francis Bacon's philosophy of science and its relevance to contemporary research. Philosophy of Science, 91(2), 345-362.

Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), Criticism and the growth of knowledge (pp. 91-196). Cambridge University Press.

Lakatos, I. (1978). The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers (Vol. 1). Cambridge University Press.

Lenzer, G. (1975). Auguste Comte and positivism: The essential writings. Harper Torchbooks.

Ludwig, D., Koskinen, I., Mncube, Z., Poliseli, L., & Reyes-Galindo, L. (Eds.). (2023). Global epistemologies and philosophies of science. Routledge.

Lynch, W. T. (2001). Solomon's child: Method in the early Royal Society of London. Stanford University Press.

Manning, G. (2012). Out on the limb: The place of medicine in Descartes' philosophy. Early Science and Medicine, 17(1-2), 1-29.

Mayo, D. G. (1996). Error and the growth of experimental knowledge. University of Chicago Press.

Miner, R. C. (2023). Francis Bacon's moral and political philosophy. The Review of Politics, 85(3), 421-448.

Nimiluoto, I. (1987). Truthlikeness. Reidel.

Okasha, S. (2016). Philosophy of science: A very short introduction (2nd ed.). Oxford University Press.

Peltonen, M. (2002). Francis Bacon and the transformation of early-modern philosophy. Cambridge University Press.

Pickering, M. (1993). Auguste Comte: An intellectual biography (Vol. 1). Cambridge University Press.

Popper, K. R. (1945). The open society and its enemies (Vols. 1-2). Routledge.

Popper, K. R. (1959/2002). The logic of scientific discovery. Routledge.

Popper, K. R. (1963). Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge. Routledge.

Popper, K. R. (1972). Objective knowledge: An evolutionary approach. Clarendon Press.

Rees, G. (2000). The structure of Bacon's Novum Organum. In J. L. Klein & C. K. Waters (Eds.), The body as object and instrument of knowledge in early modern science (pp. 51-70). Springer.

Rossi, P. (2001). The birth of modern science. Blackwell.

Schmaus, W. (1982). A reappraisal of Comte's three-state law. History and Theory, 21(2), 248-266.

Shapiro, L. (2003). The health of the body-machine? Or seventeenth-century mechanism and the concepts of health. Perspectives on Science, 11(4), 421-442.

Simon, W. M. (1963). European positivism in the nineteenth century. Cornell University Press.

Solomon, J. R. (1998). Objectivity in the making: Francis Bacon and the politics of inquiry. Johns Hopkins University Press.

Stanford Encyclopedia of Philosophy. (2015). Scientific method. https://plato.stanford.edu/entries/scientific-method/

Stanford Encyclopedia of Philosophy. (2025). René Descartes. https://plato.stanford.edu/entries/descartes/

Thornton, S. (2018). Karl Popper. In The Stanford encyclopedia of philosophy (Fall 2018 ed.). https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/popper/

Turner, J. H. (2001). Auguste Comte. In The encyclopedia of sociology (Vol. 1, pp. 63-68). Blackwell.

Urbach, P. (1987). Francis Bacon's philosophy of science. Open Court.

Waters, C. K. (2017). Beyond theoretical reduction and explanatory pluralism. University of Minnesota Press.

Wozniak, R. H. (2020). Comte's classification of the sciences. History of Psychology, 23(3), 215-231.

Wright, T. R. (1986). The religion of humanity: The impact of Comtean positivism on Victorian Britain. Cambridge University Press.

Zagorin, P. (1998). Francis Bacon. Princeton University Press.

Zahar, E. (2001). Poincaré's philosophy: From conventionalism to phenomenology. Open Court.

Capítulo 4

Métodos filosóficos aplicados a la biología acuícola

Métodos filosóficos aplicados a la biología acuícola

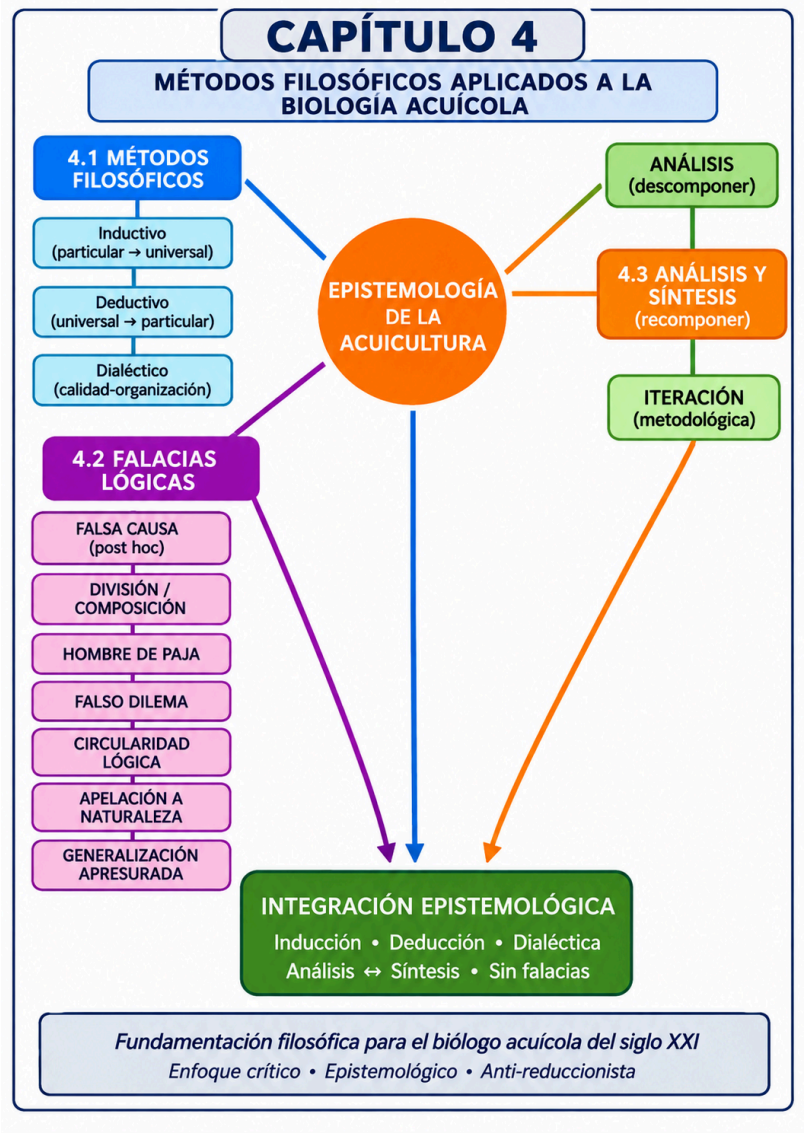
La biología acuícola, entendida como disciplina que investiga los organismos acuáticos en contextos de cultivo y manejo, requiere fundamentación epistemológica sólida para trascender el empirismo descriptivo y constituirse como ciencia explicativa. El examen crítico de los métodos filosóficos aplicados a esta área permite distinguir entre la mera acumulación de datos técnicos y la generación de conocimiento científico validado. La reflexión sobre las estrategias de razonamiento inductivo, deductivo y dialéctico, así como el reconocimiento de falacias lógicas y los procedimientos de análisis y síntesis, constituye el armazón metodológico indispensable para el biólogo del siglo XXI (Glockner et al., 2025).

El enfoque filosófico en la biología acuícola demanda comprender que la observación de fenómenos biológicos en sistemas acuáticos no constituye por sí misma conocimiento científico, sino el punto de partida para la formulación de hipótesis susceptibles de refutación empírica. La interacción entre teoría y práctica en esta disciplina biotecnológica requiere herramientas epistemológicas que permitan evaluar críticamente las inferencias realizadas desde datos experimentales hasta generalizaciones teóricas. El dominio de estos métodos filosóficos diferencia al investigador científico del técnico-operativo, estableciendo las bases para la investigación rigurosa y la toma de decisiones fundamentadas en evidencia (Grames, 2022).

La aplicación de métodos filosóficos en la biología acuícola implica necesariamente el reconocimiento de las limitaciones inherentes al razonamiento científico, incluyendo la problemática de la inducción, la asimetría entre verificación y falsación, y los sesgos cognitivos que afectan la interpretación de resultados experimentales. El análisis crítico de estos aspectos permite al investigador desarrollar protocolos de investigación robustos,

capaces de resistir el escrutinio epistemológico y generar conocimiento transferible más allá de contextos particulares de cultivo. La formación en filosofía de la ciencia resulta, por tanto, ineludible para la consolidación de la biología como disciplina científica madura (Boudry et al., 2015).

Este capítulo examina tres dimensiones fundamentales de la metodología científica aplicada a la biología acuícola: primero, la articulación entre razonamiento inductivo, deductivo y dialéctico en la formulación de hipótesis experimentales; segundo, el reconocimiento y evitación de falacias lógicas en la interpretación de datos biológicos; y tercero, los procedimientos de análisis y síntesis en la elaboración de protocolos de investigación. Cada una de estas dimensiones se desarrolla con el rigor conceptual requerido para la formación de posgrado, integrando referencias actualizadas de la filosofía de la biología y la epistemología de las ciencias experimentales (Winther, 2025).


CAPÍTULO 4
MÉTODOS FILOSÓFICOS APLICADOS A LA BIOLOGÍA ACUÍCOLA
4.1 MÉTODOS FILOSÓFICOS
Inductivo (particular → universal)
Deductivo (universal → particular)
Dialéctico (calidad-organización)
EPISTEMOLOGÍA DE LA ACUICULTURA
ANÁLISIS (descomponer)
4.3 ANÁLISIS Y SÍNTESIS (recomponer)
ITERACIÓN (metodológica)
4.2 FALACIAS LÓGICAS
FALSA CAUSA (post hoc)
DIVISIÓN / COMPOSICIÓN
HOMBRE DE PAJA
FALSO DILEMA
CIRCULARIDAD LÓGICA
APELACIÓN A NATURALEZA
GENERALIZACIÓN APRESURADA
INTEGRACIÓN EPISTEMOLÓGICA
Inducción • Deducción • Dialéctica
Análisis ↔ Síntesis • Sin falacias
Fundamentación filosófica para el biólogo acuícola del siglo XXI
Enfoque crítico • Epistemológico • Anti-reduccionista

4.1. El método inductivo, deductivo y dialéctico en la formulación de hipótesis experimentales

El razonamiento inductivo constituye el punto de partida fundamental para la generación de hipótesis en biología acuícola, partiendo de observaciones específicas de organismos cultivados hasta alcanzar generalizaciones sobre patrones biológicos. Este proceso epistemológico, caracterizado por el movimiento desde lo particular hacia lo universal, permite al investigador identificar regularidades en el comportamiento fisiológico, reproductivo o inmunológico de especies acuícolas bajo condiciones controladas. Sin embargo, el problema de la inducción, clásicamente formulado por Hume y revisitado por Popper, advierte que ninguna generalización derivada de observaciones particulares puede considerarse definitivamente verdadera, independientemente del número de casos confirmatorios acumulados (Voit, 2019).

La lógica inductiva en investigación acuícola se manifiesta cuando el científico observa respuestas específicas de organismos a determinadas variables ambientales y procede a formular principios generales sobre la fisiología de la especie. Por ejemplo, al constatar que determinada especie de salmónido presenta estrés térmico en rangos específicos de temperatura, el investigador induce generalizaciones sobre los límites térmicos de la especie. No obstante, esta inferencia lógica no garantiza la verdad absoluta del principio general, dado que futuras observaciones podrían refutar la generalización inicial. La inducción proporciona hipótesis plausibles, mas no certeza epistemológica (Rye et al., 2013).

El método deductivo, contrario al inductivo, opera mediante el razonamiento hipotético-deductivo que caracteriza la investigación científica moderna en biología. Partiendo de teorías o principios generales establecidos, el investigador deriva predicciones específicas observables que deberían cumplirse si la teoría es válida. Esta estructura lógica, formalizada como "si P entonces Q", permite diseñar experimentos capaces de poner a prueba las implicaciones empíricas de las hipótesis formuladas. El razonamiento deductivo resulta fundamental para la planificación experimental en biología, donde las predicciones derivadas de modelos teóricos sobre

nutrición o salud acuática se someten a verificación empírica (Philosophy Institute, 2023).

La asimetría entre verificación y falsación constituye un aspecto epistemológico crucial en la aplicación del método deductivo a la biología acuícola. Siguiendo la propuesta popperiana, mientras ninguna cantidad de evidencia confirmatoria puede verificar definitivamente una hipótesis universal, un solo contraejemplo válido resulta suficiente para falsarla. Esta lógica de modus tollens (si A implica B, y no-B, entonces no-A) orienta la práctica científica hacia la búsqueda activa de refutaciones empíricas. El investigador acuícola debe diseñar experimentos no para probar sus hipótesis, sino para exponerlas a la máxima posibilidad de refutación, fortaleciendo así el rigor metodológico de la investigación (Popper, citado en Glockner et al., 2025).

El método dialéctico, recuperado desde la tradición marxista y hegeliana por biólogos teóricos contemporáneos, ofrece una tercera vía epistemológica para comprender los fenómenos biológicos en biología. Este enfoque privilegia la comprensión de los organismos como totalidades organizadas en constante interacción con su entorno, rechazando el reduccionismo mecanicista que caracteriza a ciertas aproximaciones biológicas. La biología dialéctica, desarrollada originalmente por Levins y Lewontin, enfatiza la determinación recíproca entre organismo y ambiente, así como la emergencia de propiedades cualitativamente nuevas a partir de interacciones complejas (Marques, 2018).

La aplicación del método dialéctico en biología acuícola permite superar la concepción del organismo cultivado como entidad pasiva sometida a factores ambientales externos. Por el contrario, este enfoque reconoce que los organismos acuáticos son agentes activos que modifican su entorno y se modifican a sí mismos mediante procesos de autorregulación y homeostasis. La comprensión de esta autonomía organizacional resulta esencial para el diseño de sistemas de cultivo sostenibles, donde la interacción dinámica entre los componentes bióticos y abióticos del sistema determina el éxito productivo. El método dialéctico integra así los niveles molecular,

celular, orgánico y ecológico de organización biológica (Shambaugh, 2025).

La integración de los tres métodos filosóficos en la práctica investigativa acuícola genera una epistemología pluralista y robusta. El inductivo permite la generación de hipótesis a partir de observaciones empíricas; el deductivo posibilita la formulación de predicciones testables y el diseño experimental riguroso; el dialéctico proporciona el marco conceptual para comprender las interacciones complejas y las contradicciones inherentes a los sistemas biológicos. Esta triada metodológica evita tanto el inductivismo ingenuo como el deductivismo axiomático descontextualizado, estableciendo una práctica científica equilibrada y críticamente fundamentada (Bechtel & Richardson, 1993).

La formulación de hipótesis en biología acuícola requiere la explicitación clara de las variables independientes, dependientes y los mecanismos causales postulados. Siguiendo el modelo hipotético-deductivo, la hipótesis debe generar predicciones específicas susceptibles de evaluación empírica mediante experimentación controlada. La estructura lógica de la hipótesis científica implica una relación condicional entre variables, expresable en términos de grafos dirigidos acíclicos que representan las relaciones causales postuladas. Esta formalización lógica permite evaluar la coherencia interna de la hipótesis antes de su prueba empírica (Laubach et al., 2021).

El papel de la analogía en el descubrimiento científico acuícola representa una aplicación particular del razonamiento inductivo. Los investigadores frecuentemente utilizan modelos de organismos o sistemas de cultivo bien caracterizados para formular hipótesis sobre especies o condiciones menos estudiadas. Este razonamiento analógico, analizado extensivamente en la filosofía de la ciencia cognitiva, permite transferir conocimiento estructural entre dominios, siempre bajo la condición de que las similitudes relevantes sean efectivamente pertinentes para el fenómeno investigado. La validación de estas inferencias analógicas requiere posterior verificación empírica específica (Thagard, 2012).

La retroalimentación entre teoría y observación en biología acuícola ilustra la interacción dinámica entre inducción y deducción. Las teorías existentes sobre nutrición, inmunología o genética de poblaciones acuícolas guían la observación de fenómenos específicos, mientras que las anomalías observacionales generan tensiones que demandan la reformulación teórica. Este proceso de ajuste mutuo entre teoría y dato, característico de la dinámica científica descrita por Kuhn y Lakatos, impide tanto la acumulación inductiva ingenua de datos como la especulación deductiva desligada de la evidencia empírica (Kuhn, citado en Yoshida & Love, 2024).

La complejidad de los sistemas acuícolas demanda la superación del enfoque unifactorial propio del experimentalismo simplista. El método dialéctico, mediante su énfasis en las contradicciones internas y las relaciones de totalidad, permite abordar la multicausalidad inherente a los fenómenos biológicos en cultivo. Las propiedades emergentes de los sistemas acuícolas, tales como la estabilidad ecológica o la resistencia a enfermedades, no son reducibles a la suma de propiedades de sus componentes individuales, sino que emergen de las interacciones no lineales entre dichos componentes. Esta perspectiva sistémica requiere métodos epistemológicos capaces de capturar la complejidad organizacional (Moreno & Mossio, 2015).

El proceso de descubrimiento de mecanismos en biología acuícola, analizado por los neomecanicistas en filosofía de la ciencia, implica estrategias de razonamiento específicas. La localización del fenómeno en un mecanismo particular, la descomposición de dicho mecanismo en sus componentes constituyentes, y la determinación de cómo la organización de estos componentes genera el fenómeno observable, constituyen pasos epistemológicos distintivos. Estas estrategias de "esquematización" permiten generar explicaciones mecanicistas que integran múltiples niveles de organización biológica, desde lo molecular hasta lo fisiológico y ecológico (Darden, 2002).

La evaluación preliminar de hipótesis en biología, previa a la experimentación sistemática, constituye una fase epistemológica

crucial frecuentemente subestimada. Durante esta etapa, el investigador evalúa la plausibilidad inicial de la hipótesis considerando su coherencia con el conocimiento teórico existente, su simplicidad relativa, y su capacidad explicativa comparada con hipótesis alternativas. Esta evaluación "débil", en contraste con la evaluación "fuerte" proporcionada por la prueba empírica rigurosa, filtra propuestas inviables antes de la inversión de recursos experimentales. La incorporación de esta fase de evaluación preliminar fortalece la eficiencia del proceso investigativo (Schaffner, 1993).

La generación de hipótesis mediante inteligencia artificial y modelado computacional representa una evolución contemporánea de los métodos filosóficos tradicionales en biología. Los sistemas de generación automática de hipótesis, basados en grandes modelos de lenguaje y técnicas de aprendizaje automático, producen conjeturas científicas mediante procesos que integran inducción estadística sobre grandes corpus de datos bibliográficos. No obstante, estas hipótesis generadas algorítmicamente requieren validación epistemológica rigurosa, incluyendo la verificación de su novedad, plausibilidad biológica y testabilidad empírica, antes de su incorporación al corpus científico acuícola (Ghafarollahi & Buehler, 2024).

4.2. Reconocimiento de falacias lógicas en la interpretación de datos biológicos

La falacia de la falsa causa (*post hoc ergo propter hoc*) representa uno de los errores lógicos más frecuentes en la investigación biológica aplicada a la biología. Este error inferencial consiste en asumir que la sucesión temporal entre dos eventos implica necesariamente una relación causal entre ellos. En el contexto de sistemas de cultivo, observar que una enfermedad aparece después de un cambio en la dieta no constituye prueba suficiente de que la alimentación sea la causa etiológica. La complejidad de los sistemas biológicos implica que múltiples factores confundidores pueden covariar temporalmente con la variable de interés, exigiendo diseños experimentales controlados para establecer relaciones causales válidas (Tindale, 2007).

La falacia de la división, consistente en atribuir propiedades del todo a sus partes constituyentes, afecta significativamente la interpretación de datos en biología molecular y fisiología acuícola. Por ejemplo, inferir que porque un organismo presenta cierta característica fenotípica, todas sus células individuales deben manifestarla, constituye un error lógico que ha conducido a interpretaciones erróneas de ensayos de expresión génica. La organización emergente de los sistemas biológicos implica que las propiedades de los niveles superiores de organización no son simplemente sumativas de las propiedades de los componentes, requiriendo análisis específicos para cada nivel de organización (University of Hohenheim, 2025).

La falacia del hombre de paja (*straw man*) se manifiesta en debates científicos acuícolas cuando se distorsiona deliberadamente la posición del oponente para facilitar su refutación. Esta táctica argumentativa, analizada extensivamente en teoría de la argumentación, consiste en presentar una versión simplificada o caricaturesca de la hipótesis contraria para luego atacar esta versión deformada en lugar de la posición real. En controversias sobre el uso de organismos genéticamente modificados en biología, por ejemplo, se ha observado la tendencia de atribuir a los defensores de la cautela regulatoria posiciones extremas que no sostienen, facilitando su descalificación sin abordar sus argumentos sustantivos (Simberloff, 2003).

La falacia de la falacia dicotómica (*false dilemma*) o falso dilema limita artificialmente el espacio de opciones disponibles en la toma de decisiones biotecnológicas. Presentar la elección en biología como una disyunción excluyente entre "producción intensiva con altos rendimientos" versus "sustentabilidad ecológica con bajas tasas productivas" constituye un error lógico que obvia alternativas intermedias viables. Esta simplificación binaria obstaculiza el desarrollo de sistemas de producción acuícola que integren eficiencia productiva y responsabilidad ambiental mediante tecnologías de precisión y diseño sistémico (University of Hohenheim, 2025).

La falacia ad hominem, especialmente en su variante de "culpa por asociación" (*guilt by association*), afecta la evaluación objetiva de especies o tecnologías en biología de invasiones y biología. Consiste en evaluar negativamente una especie o práctica acuícola basándose en su asociación categorial con casos problemáticos específicos, sin considerar sus atributos particulares. Por ejemplo, descartar automáticamente todas las especies exóticas para cultivo basándose únicamente en los impactos causados por algunas invasiones biológicas notorias, constituye un prejuicio lógico que ignora la variabilidad interespecífica y contextual en el comportamiento de organismos introducidos (Guiaşu, 2016).

La circularidad lógica (*circular reasoning*) aparece en la interpretación de datos cuando la conclusión que se busca probar se asume implícitamente entre las premisas del argumento. En estudios de fisiología acuícola, definir una condición fisiológica como patológica basándose en ciertos biomarcadores, y luego utilizar la presencia de estos biomarcadores para "confirmar" la patología, constituye un razonamiento circular que no aporta conocimiento nuevo. Este error lógico resulta particularmente insidioso porque puede enmascararse mediante terminología técnica compleja que oculta la tautología subyacente (University of Hohenheim, 2025).

La falacia de la apelación a la naturaleza (*naturalistic fallacy*) permea discusiones sobre alimentación y manejo en biología. Consiste en inferir que porque un comportamiento o condición es "natural" debe ser preferible o beneficioso, o inversamente, que lo artificial es inherentemente perjudicial. Esta confusión entre descripción y prescripción ignora que los organismos acuáticos cultivados han sido históricamente sometidos a selección artificial intensiva, y que las condiciones "naturales" frecuentemente implican estrés, depredación y mortalidad elevada. La evaluación ética y práctica de prácticas acuícolas debe basarse en criterios de bienestar animal y sostenibilidad, no en aproximaciones naturalistas simplistas (University of Hohenheim, 2025).

La falacia del *red herring* o distracción irrelevante desvía la atención del problema central hacia cuestiones tangenciales en

debates científicos acuícolas. Cuando se discuten los impactos ambientales de una práctica de cultivo específica, introducir argumentos sobre la seguridad alimentaria o el empleo en el sector sin establecer conexión lógica con la cuestión ambiental, constituye una estrategia retórica que evade el análisis riguroso. Esta falacia obstaculiza el progreso del conocimiento científico al impedir el enfrentamiento directo de las cuestiones empíricas y teóricas relevantes (Richardson & Ricciardi, 2013).

La falacia de afirmar el consecuente (*affirming the consequent*) afecta la validación de modelos predictivos en investigación acuícola. Esta estructura lógica inválida consiste en argumentar que si una hipótesis implica cierta predicción, y la predicción se observa, entonces la hipótesis debe ser verdadera. Sin embargo, diferentes hipótesis pueden generar predicciones idénticas (la equivalencia predictiva), por lo que la confirmación de la predicción no discrimina entre explicaciones alternativas. La inferencia correcta requiere considerar la capacidad de la hipótesis para predecir resultados inesperados y su comparación con modelos rivales (Field & Kersbergen, 2020).

La reificación (*reification*) constituye una falacia ontológica frecuente en la interpretación de abstracciones estadísticas o modelos computacionales como entidades concretas. En biología acuícola, tratar parámetros de modelos matemáticos de crecimiento como si representaran mecanismos biológicos reales, independientemente de su validación empírica, conlleva el riesgo de atribuir realidad ontológica a construcciones teóricas. Esta falacia resulta particularmente problemática cuando los modelos predictivos se utilizan para fundamentar decisiones de manejo sin verificación experimental de los mecanismos postulados (Reissner et al., 2015).

La falacia del consenso o apelación a la autoridad (*argumentum ad populum* o *ad verecundiam*) puede comprometer la objetividad en la evaluación de evidencia científica acuícola. Aceptar una hipótesis sobre el manejo de especies acuáticas basándose únicamente en su amplia aceptación en la comunidad científica, o en la reputación de quien la propone, sin evaluación independiente

de la evidencia empírica, constituye un error lógico. La validez científica depende de la correspondencia entre teoría y evidencia, no de la popularidad o prestigio de sus proponentes, especialmente en campos donde paradigmas establecidos pueden resistirse a la evidencia contradictoria (Stegenga, 2018).

La falacia de la generalización apresurada (*hasty generalization*) resulta de extrapolar conclusiones válidas para muestras específicas a poblaciones generales sin justificación epistemológica. En ensayos con especies acuícolas, inferir patrones generales de crecimiento o respuesta inmune a partir de estudios realizados en una única instalación, con condiciones genéticas y ambientales específicas, sin considerar la variabilidad inter-poblacional, conduce a generalizaciones inválidas. El rigor metodológico exige la replicação independiente y la consideración de la heterogeneidad biológica antes de extender conclusiones más allá del contexto particular de estudio (Kovaka, 2022).

La falacia de la carga de prueba (*burden of proof*) se manifiesta en debates sobre seguridad biológica y evaluación de riesgos en biología. Exigir que se demuestre la inocuidad absoluta de una especie o práctica para considerarla segura, cuando tal demostración es epistemológicamente imposible dada la complejidad de los ecosistemas, establece un criterio irracional. Inversamente, asumir la seguridad hasta que se demuestre el daño ("inocente hasta probar lo contrario") puede subestimar riesgos reales. La gestión racional del riesgo requiere evaluaciones probabilísticas basadas en evidencia disponible, no en estándares de prueba imposibles o en asunciones de seguridad por defecto (Ruesink et al., 1995).

La falacia de la composición, inversa a la falacia de la división, consiste en atribuir propiedades de las partes al todo. En sistemas acuícolas, inferir que porque ciertos microorganismos individuales presentan características patogénicas, el consorcio microbiano completo será necesariamente patogénico, constituye un error lógico. Las interacciones ecológicas y fisiológicas en comunidades microbianas pueden producir efectos emergentes no predictibles a partir del análisis aislado de componentes. Esta falacia subyace a

interpretaciones reduccionistas que ignoran las propiedades sistémicas de los microbiomas acuáticos (University of Hohenheim, 2025).

4.3. Análisis y síntesis en la elaboración de protocolos de investigación

El análisis constituye la primera fase fundamental del método científico aplicado a la investigación acuícola, consistente en la descomposición del problema de investigación en sus componentes constituyentes para su examen detallado. Este proceso epistemológico, derivado de la metodología científica clásica, implica la identificación de variables relevantes, la caracterización de relaciones potenciales entre fenómenos, y la delimitación precisa del objeto de estudio. En la formulación de protocolos experimentales en biología, el análisis riguroso permite desagregar sistemas complejos en elementos manejables, identificando los factores que requieren control experimental y las variables respuesta que deben cuantificarse (Horvath, 2020).

La operación analítica en biología acuícola requiere la aplicación de heurísticas específicas para la generación de hipótesis mecanicistas. Siguiendo el enfoque de Darden y Craver, el análisis implica localizar el fenómeno de interés dentro de un sistema mayor, descomponerlo en sus partes constituyentes, y comprobar las actividades específicas que cada componente realiza. Por ejemplo, al investigar la respuesta inmune de peces cultivados a patógenos específicos, el análisis identifica los componentes celulares y moleculares del sistema inmune, sus interacciones potenciales, y los mecanismos efectores involucrados en la respuesta defensiva. Esta descomposición sistemática constituye el fundamento para el diseño experimental posterior (Darden, 2002).

La síntesis representa la operación complementaria al análisis, consistente en la recomposición de los elementos estudiados para comprender el funcionamiento del sistema como totalidad organizada. Mientras el análisis procede de lo complejo a lo simple, la síntesis opera desde los componentes hacia la totalidad, buscando explicar cómo la organización específica de las partes genera las propiedades emergentes del sistema. En protocolos de

investigación acuícola, la síntesis permite integrar los resultados parciales obtenidos en diferentes niveles de organización biológica, construyendo explicaciones mecanicistas completas de los fenómenos estudiados (Bechtel & Bich, 2024).

La iteración entre análisis y síntesis caracteriza el proceso de refinamiento de protocolos experimentales en biología acuícola. El investigador no realiza estas operaciones una sola vez, sino que alterna continuamente entre la descomposición analítica y la reconstrucción sintética. Las primeras etapas de un proyecto investigativo pueden requerir análisis profundo de mecanismos específicos, mientras que etapas posteriores demandan síntesis de estos hallazgos para evaluar su coherencia con el funcionamiento sistémico. Esta dialéctica metodológica evita tanto el reduccionismo que pierde de vista el contexto sistémico, como el holismo vago incapaz de fundamentar intervenciones específicas (Craver & Darden, 2013).

La síntesis de hipótesis mediante métodos sistemáticos representa una innovación metodológica contemporánea en la investigación biológica. Este enfoque, desarrollado por Grames y colaboradores, permite integrar múltiples hipótesis formuladas en estudios previos mediante su representación como grafos dirigidos acíclicos (DAG). En investigación acuícola, esta metodología posibilita la identificación de conexiones causales entre hipótesis aparentemente aisladas, revelando puentes conceptuales entre diferentes líneas de investigación. La síntesis sistemática de hipótesis supera las limitaciones de las revisiones narrativas tradicionales, proporcionando un marco formal para la integración de conocimiento (Grames, 2022).

El diseño de protocolos experimentales requiere la síntesis de información proveniente de múltiples fuentes epistémicas. El investigador debe integrar conocimiento teórico previo, datos empíricos preliminares, restricciones metodológicas específicas, y consideraciones éticas y logísticas, en una propuesta de investigación coherente. Esta síntesis no es meramente administrativa, sino epistemológicamente productiva, dado que la confrontación de información heterogénea frecuentemente genera

nuevas preguntas de investigación y refinamientos metodológicos. La capacidad de síntesis distingue al investigador senior del mero ejecutor de protocolos estandarizados (Laubach et al., 2021).

La validación de protocolos mediante análisis de riesgo de sesgo constituye una aplicación específica del método analítico en investigación contemporánea. Antes de la implementación experimental, el protocolo debe someterse a evaluación crítica que identifique potenciales fuentes de sesgo sistemático, errores de medición, y limitaciones de validez externa. Herramientas como el marco PICOS (Población, Intervención, Comparador, Resultados, Diseño de estudio) proporcionan estructuras analíticas para examinar la coherencia interna del protocolo y su alineación con los objetivos investigativos declarados (Page et al., 2021).

La síntesis metaanalítica de resultados experimentales en biología requiere criterios específicos de elegibilidad y extracción de datos. Esta metodología cuantitativa, diferente de la síntesis narrativa, implica la agregación estadística de resultados de estudios independientes mediante el cálculo de tamaños de efecto estandarizados. El proceso de síntesis metaanalítica demanda decisiones metodológicas explícitas sobre la inclusión de estudios, la evaluación de heterogeneidad entre ellos, y la selección de modelos estadísticos apropiados. La rigurosidad de este proceso de síntesis determina la validez de las conclusiones generales obtenidas (Gurevitch et al., 2018).

El análisis de datos biológicos en biología ha evolucionado hacia la incorporación de técnicas de aprendizaje automático y modelado predictivo. Estas metodologías, analizadas en la filosofía de la ciencia contemporánea como extensiones del método científico tradicional, requieren análisis cuidadoso de la calidad de datos, la selección de características relevantes, y la validación cruzada de modelos. El análisis mediante inteligencia artificial permite identificar patrones complejos no detectables mediante métodos estadísticos convencionales, aunque requiere síntesis crítica para evitar la sobreparametrización y garantizar la interpretabilidad biológica de los resultados (Sybrandt et al., 2018).

La síntesis entre explicaciones mecanicistas y principios organizacionales autónomos representa un desafío epistemológico actual en biología. Mientras los enfoques mecanicistas tradicionales analizan los organismos como conjuntos de partes interaccionantes, la teoría de la autonomía biológica enfatiza la clausura organizacional y la autoconstrucción de los seres vivos. La integración productiva de estas perspectivas requiere síntesis conceptual que reconozca tanto los mecanismos causales específicos como las propiedades emergentes de la organización sistémica. Esta síntesis epistemológica enriquece la comprensión de la fisiología de organismos acuáticos cultivados (Moreno & Mossio, 2015).

El análisis crítico de supuestos en modelos matemáticos aplicados a la biología constituye una competencia metodológica esencial. Los modelos predictivos de crecimiento, alimentación o dinámica poblacional incorporan supuestos implícitos sobre la constancia de parámetros biológicos, la ausencia de efectos densodependientes, o la linealidad de respuestas. El análisis riguroso de estos supuestos mediante técnicas de análisis de sensibilidad y validación empírica permite identificar las limitaciones de aplicabilidad de los modelos. Esta práctica analítica preventiva evita la aplicación acrítica de modelos teóricos a contextos empíricos donde sus supuestos fundamentales no se cumplen (Kauffman, 2019).

La síntesis interdisciplinaria en protocolos de investigación acuícola integra conocimientos de biología, ingeniería, economía y ciencias sociales. La complejidad de los sistemas de producción acuícola contemporáneos demanda enfoques de investigación que trasciendan las fronteras disciplinarias tradicionales. El diseño de protocolos de investigación sostenible requiere síntesis conceptual que articule objetivos biológicos, técnicos, económicos y éticos en marcos coherentes de investigación. Esta integración interdisciplinaria, analizada en la epistemología de la investigación transdisciplinaria, genera nuevas formas de conocimiento aplicable a problemas complejos de gestión acuícola (Zhang et al., 2024).

El análisis de validez ecológica en estudios experimentales acuícolas determina la generalización de resultados a condiciones de producción reales. Los protocolos de laboratorio frecuentemente simplifican condiciones ambientales, densidades poblacionales o complejidad estructural, limitando la extrapolación de hallazgos. El análisis crítico de la validez ecológica implica examinar la correspondencia entre el entorno experimental y las condiciones de cultivo comerciales, identificando variables contextuales que podrían modular los efectos observados. Este análisis de validez externa resulta crucial para la transferencia tecnológica desde la investigación básica hacia la práctica productiva (Leonelli, 2020).

La síntesis narrativa cualitativa complementa los enfoques cuantitativos en la revisión sistemática de literatura acuícola. Cuando la heterogeneidad metodológica entre estudios impide el metaanálisis estadístico, la síntesis narrativa rigurosa permite integrar hallazgos cualitativos mediante la extracción sistemática de hipótesis, mecanismos postulados y contextos de estudio. Este método de síntesis, formalizado en las directrices PRISMA-ScR, requiere transparencia en los procedimientos de búsqueda, selección y análisis temático de la literatura. La síntesis narrativa bien ejecutada genera conocimiento integrativo válido cuando los métodos cuantitativos resultan inaplicables (Tricco et al., 2018).

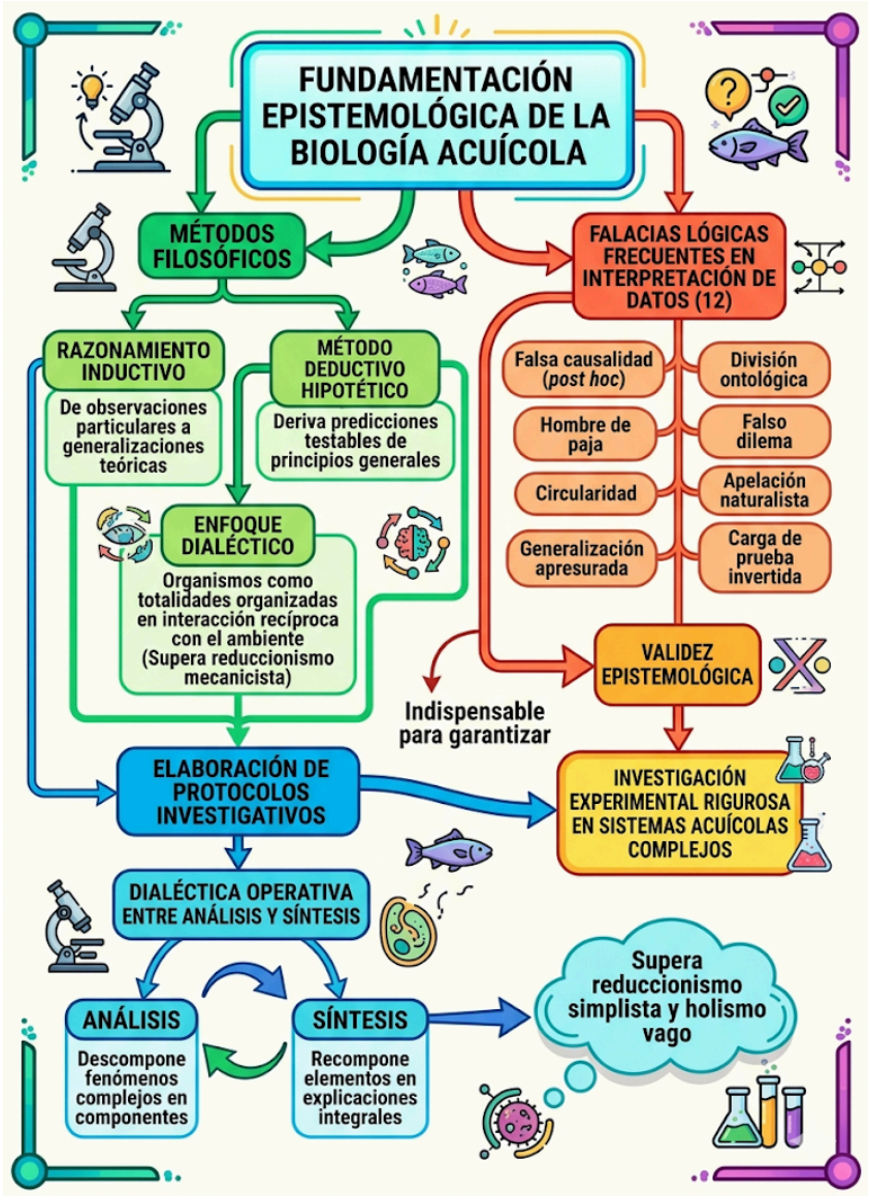
El análisis prospectivo de impacto ético en protocolos de investigación con organismos acuáticos constituye una dimensión normativa del diseño metodológico. La evaluación ética requiere análisis anticipado de los potenciales efectos del experimento sobre el bienestar de los animales, los riesgos de fuga de organismos modificados, y las implicaciones sociales de la investigación. Este análisis normativo, integrado en la fase de diseño protocolario, permite implementar medidas de mitigación y refinamiento metodológico que minimicen impactos negativos. La síntesis entre rigor científico y responsabilidad ética caracteriza la investigación acuícola contemporánea (Ferraro et al., 2021).

Resumen

Este capítulo examina la fundamentación epistemológica de la biología acuícola mediante el estudio crítico de métodos filosóficos aplicados a la investigación científica. Se analizan tres modalidades metodológicas fundamentales: el razonamiento inductivo, el cual opera desde observaciones particulares hacia generalizaciones teóricas; el método deductivo hipotético, capaz de derivar predicciones testables a partir de principios generales; y el enfoque dialéctico, comprendiendo los organismos como totalidades organizadas en constante interacción recíproca con el ambiente, superando así el reduccionismo mecanicista tradicional.

Se identifican y caracterizan doce falacias lógicas frecuentes en la interpretación de datos biológicos, incluyendo la falsa causalidad *post hoc*, la división ontológica, el hombre de paja argumentativo, el falso dilema excluyente, la circularidad lógica, la apelación naturalista, la generalización apresurada desde muestras limitadas y la carga de prueba invertida. El reconocimiento riguroso de estos errores inferenciales resulta absolutamente indispensable para garantizar la validez epistemológica y la solidez de las conclusiones experimentales derivadas.

El proceso de elaboración de protocolos investigativos se fundamenta específicamente en la dialéctica operativa entre análisis y síntesis. El primero descompone sistemáticamente fenómenos complejos en sus componentes constituyentes; la segunda recompone dichos elementos en explicaciones integrales coherentes. Esta iteración metodológica continua permite superar efectivamente tanto el reduccionismo simplista como el holismo vago indeterminado, estableciendo bases sólidas para la investigación experimental rigurosa en sistemas acuícolas contemporáneos complejos.


FUNDAMENTACIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA BIOLOGÍA ACUÍCOLA
MÉTODOS FILOSÓFICOS
RAZONAMIENTO INDUCTIVO
De observaciones particulares a generalizaciones teóricas
MÉTODO DEDUCTIVO HIPOTÉTICO
Deriva predicciones testables de principios generales
ENFOQUE DIALÉCTICO
Organismos como totalidades organizadas en interacción recíproca con el ambiente (Supera reduccionismo mecanicista)
FALACIAS LÓGICAS FRECUENTES EN INTERPRETACIÓN DE DATOS (12)
Falsa causalidad (post hoc)
División ontológica
Hombre de paja
Falso dilema
Circularidad
Apelación naturalista
Generalización apresurada
Carga de prueba invertida
VALIDEZ EPISTEMOLÓGICA
Indispensable para garantizar
ELABORACIÓN DE PROTOCOLOS INVESTIGATIVOS
INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL RIGUROSA EN SISTEMAS ACUÍCOLAS COMPLEJOS
DIALÉCTICA OPERATIVA ENTRE ANÁLISIS Y SÍNTESIS
ANÁLISIS
Descompone fenómenos complejos en componentes
SÍNTESIS
Recompone elementos en explicaciones integrales
Supera reduccionismo simplista y holismo vago

Referencias Bibliográficas

Bechtel, W., & Abrahamsen, A. (2005). Explanation: A mechanistic alternative. Studies in History and Philosophy of Biology and Biomedical Sciences, 36(2), 421-441.

Bechtel, W., & Bich, L. (2024). Situating homeostasis in organisms: Maintaining organization through time. Journal of Physiology, 1-18. https://doi.org/10.1113/JP286467

Boudry, M., Blancke, S., & Pigliucci, M. (2015). What makes weird beliefs thrive? The epidemiology of pseudoscience. Philosophical Psychology, 28(8), 1177-1198.

Craver, C. F., & Darden, L. (2013). In search of mechanisms: Discoveries across the life sciences. University of Chicago Press.

Darden, L. (2002). Strategies for discovering mechanisms: Schema instantiation, modular subassembly, forward/backward chaining. Philosophy of Science, 69(S3), S354-S365.

Ferraro, P. J., Sanchirico, J. N., & Smith, M. D. (2021). Causal inference in coupled human and natural systems. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(31), e2104088118.

Field, M., & Kersbergen, C. J. (2020). Addiction neuroscience in the era of translational research: Facing the challenges of translatability and generalizability. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 115, 179-187.

Ghafarollahi, A., & Buehler, M. J. (2024). SciAgents: Automating scientific discovery through multi-agent intelligent graph reasoning. arXiv preprint arXiv:2409.05531.

Glockner, M., Hou, Y., Nakov, P., & Gurevych, I. (2025). Grounding fallacies misrepresenting scientific publications in evidence. Proceedings of the 2025 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (Volume 1: Long Papers), 9732-9767. https://doi.org/10.18653/v1/2025.naacl-long.491

Grames, E. M. (2022). A systematic method for hypothesis synthesis and conceptual model development. Methods in Ecology and Evolution, 13(10), 2143-2153. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13940

Gurevitch, J., Koricheva, J., Nakagawa, S., & Stewart, G. (2018). Meta-analysis and the science of research synthesis. Nature, 555(7695), 175-182.

Guiaşu, R. C. (2016). Non-native species and the aesthetics of nature. Environmental Ethics, 38(4), 405-422.

Horvath, P. (2020). Getting it right: R&D methods for science and engineering (2nd ed.). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2018-0-00174-3

Kauffman, S. A. (2019). A world beyond physics: The emergence and evolution of life. Oxford University Press.

Kovaka, K. (2022). Meta-analysis and conservation science. Philosophy of Science, 89(5), 980-990.

Laubach, Z. M., Murray, E. J., Hoke, K. L., Safran, R. J., & Perng, W. (2021). A biologist's guide to the galaxy: Leveraging causal DAGs for designing, analyzing, and communicating research. bioRxiv. https://doi.org/10.1101/2021.06.02.446855

Leonelli, S. (2020). Scientific research and big data. In E. N. Zalta (Ed.), The Stanford encyclopedia of philosophy (Winter 2020 Edition). https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/science-big-data/

Marques, V. (2018). Positing the presuppositions: Dialectical biology and the minimal structure of life. Dialectical Systems.

Moreno, A., & Mossio, M. (2015). Biological autonomy: A philosophical and theoretical enquiry. Springer.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting

systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Philosophy Institute. (2023). Understanding the hypothetico-deductive method in epistemology. Philosophy Institute Blog. https://philosophy.institute/epistemology/hypothetico-deductive-method-epistemology/

Reissner, K. J., Gipson, C. D., Tran, P. K., et al. (2015). Glutamate transporter GLT-1 mediates N-acetylcysteine inhibition of cocaine reinstatement. Addiction Biology, 20(2), 436-443.

Richardson, D. M., & Ricciardi, A. (2013). Misleading arguments, misguided policies. Trends in Ecology & Evolution, 28(7), 394-396.

Ruesink, J. L., Parker, I. M., Groom, M. J., & Kareiva, P. M. (1995). Reducing the risks of nonindigenous species introductions. BioScience, 45(7), 465-477.

Rye, C., Wise, R., Jurukovski, V., Desaix, J., Choi, J., & Avissar, Y. (2013). Biology: Chapter 1 the study of life. OpenStax.

Shambaugh, C. (2025). Marx's concept of life. Dialectical Systems.

Simberloff, D. (2003). Confronting introduced species: A form of xenophobia? Biological Invasions, 5(4), 179-192.

Stegenga, J. (2018). Medical nihilism. Oxford University Press.

Sybrandt, J., Shutt, T., Sajeev, A., & Breen, I. (2018). AGATHA: Automatic graph mininG and interactive visualization of biological text. Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), 1087-1094.

Thagard, P. (2012). Creative cognition in science. In P. Paul & S. B. Kaufman (Eds.), The philosophy of creativity (pp. 179-194). Oxford University Press.

Tindale, C. W. (2007). Fallacies and argument appraisal. Cambridge University Press.

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., et al. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. Annals of Internal Medicine, 169(7), 467-473.

University of Hohenheim. (2025). Scientific reasoning: Errors and fallacies. Methods of Scientific Working (for Crop Sciences). https://web350b.ipsp.uni-hohenheim.de/scimeth/scientific-reasoning-common-errors.pdf

Voit, E. O. (2019). Perspective: Dimensions of the scientific method. PLoS Computational Biology, 15(9), e1007279. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007279

Winther, R. G. (2025). Dialectical biology today: Legacies of Richard Lewontin. Dialectical Systems Conference Report.

Yoshida, Y., & Love, A. C. (2024). Mechanisms and principles: Two approaches to scientific generalization. European Journal for Philosophy of Science, forthcoming.

Zhang, C., Bousquet, O., & Bengio, Y. (2024). Domain adaptation and transfer learning. Nature Reviews Methods Primers, 4(1), 1-16.

Capítulo5
Epistemología, Paradigmas Y Racionalidad Científica En La Biología Marina

Epistemología, paradigmas y racionalidad científica en la biología marina

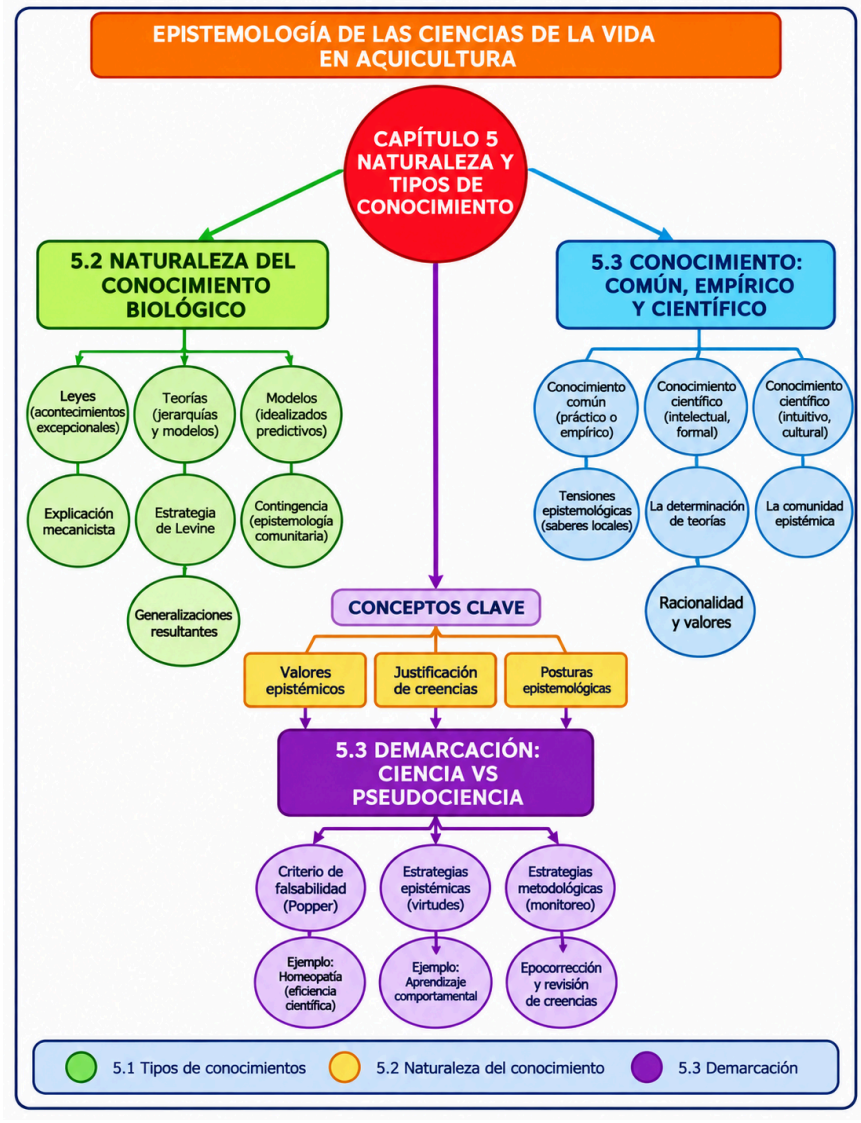
La epistemología en la biología marina constituye el fundamento conceptual mediante el cual se examina la naturaleza, el origen y los límites del conocimiento científico generado en los ecosistemas oceánicos. Esta disciplina filosófica interroga cómo los investigadores justifican sus creencias como verdaderas, considerando que el conocimiento científico resulta de un proceso dinámico donde las observaciones empíricas se entrelazan con construcciones teóricas y perspectivas subjetivas (Moon et al., 2021). En el contexto de la investigación marina integrativa, la epistemología adquiere relevancia particular al enfrentar la complejidad de sistemas socio-ecológicos donde convergen dimensiones biofísicas tangibles y elementos humanos intangibles, exigiendo una reflexión profunda sobre qué se estudia, cómo se crea el conocimiento y quién determina su validez dentro de comunidades epistémicas específicas.

Los paradigmas científicos en la biología marina experimentan transformaciones sustanciales cuando las presiones ambientales, tecnológicas y culturales catalizan cambios en la producción de alimentos acuáticos. La transición histórica del forrajeo hacia la agricultura terrestre durante la Revolución Neolítica ofrece un marco analógico para comprender el posible cambio de paradigma contemporáneo hacia la biología intensiva, impulsado por la combinación de presión demográfica, difusión tecnológica y cambio climático (Kuempel et al., 2021). Este proceso epistemológico implica modificaciones en los supuestos ontológicos sobre los recursos marinos, desplazando la concepción de peces como caza silvestre hacia organismos de cultivo domesticados, lo cual reconfigura las metodologías de

investigación, los criterios de sustentabilidad y las prácticas de gestión en la interfaz ciencia-política.

La racionalidad científica en la biología marina enfrenta desafíos epistemológicos particulares cuando opera bajo condiciones de ignorancia sistemática o información incompleta, situación frecuente en contextos de bioseguridad marina donde las decisiones políticas deben anticiparse al conocimiento empírico disponible. La adopción de políticas basadas en evidencia genera responsabilidades epistémicas específicas: comprobar qué constituye evidencia válida, establecer estándares de diligencia epistémica y asignar la carga de la prueba ante la ausencia de certeza científica completa (Schwenkenbecher et al., 2023). La racionalidad científica se manifiesta entonces mediante la aplicación de principios epistémicos como la proporcionalidad, donde el impacto potencial de las acciones determina la extensión de las obligaciones investigativas, y el principio precautorio epistémico, que exige actuar ante amenazas graves aun cuando la certeza científica sea limitada.

Los constraints ambientales del entorno marino —presión hidrostática, opacidad lumínica, temperaturas extremas y accibilidad tecnológica limitada— generan oportunidades filosóficas únicas para examinar la práctica científica bajo condiciones extremas. El Principio de Krogh, adaptado meta filosóficamente, propone que el estudio de fenómenos científicos en condiciones extremas o inusuales ilumina características fundamentales que permanecerían ocultas en contextos terrestres ordinarios (Jones & Cuypers, 2025). La investigación marina opera bajo restricciones físicas severas que moldean tanto los métodos de observación como las elecciones metodológicas, demostrando cómo los valores epistémicos interactúan con limitaciones cognitivas y sociales para producir conocimiento válido en circunstancias donde la observación directa resulta costosa, peligrosa o imposible, resaltando la parcialidad provisional inherentemente situada del conocimiento científico oceanográfico.


EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS DE LA VIDA EN ACUICULTURA
CAPÍTULO 5 NATURALEZA Y TIPOS DE CONOCIMIENTO
5.2 NATURALEZA DEL CONOCIMIENTO BIOLÓGICO
5.3 CONOCIMIENTO: COMÚN, EMPÍRICO Y CIENTÍFICO
Leyes (acontecimientos excepcionales)
Teorías (jerarquías y modelos)
Modelos (idealizados predictivos)
Explicación mecanicista
Estrategia de Levine
Contingencia (epistemología comunitaria)
Generalizaciones resultantes
Conocimiento común (práctico o empírico)
Conocimiento científico (intelectual, formal)
Conocimiento científico (intuitivo, cultural)
Tensiones epistemológicas (saberes locales)
La determinación de teorías
La comunidad epistémica
Racionalidad y valores
CONCEPTOS CLAVE
Valores epistémicos
Justificación de creencias
Posturas epistemológicas
5.3 DEMARCACIÓN: CIENCIA VS PSEUDOCIENCIA
Criterio de falsabilidad (Popper)
Estrategias epistémicas (virtudes)
Estrategias metodológicas (monitoreo)
Ejemplo: Homeopatía (eficiencia científica)
Ejemplo: Aprendizaje comportamental
Epocorrección y revisión de creencias
5.1 Tipos de conocimientos
5.2 Naturaleza del conocimiento
5.3 Demarcación

5.1. El conocimiento común, empírico y científico: límites y alcances en la práctica acuícola

La distinción entre conocimiento común, empírico y científico constituye el fundamento epistemológico para comprender cómo se genera y valida el saber en las prácticas acuícolas contemporáneas. El conocimiento común se caracteriza por su carácter práctico, intuitivo y culturalmente situado, permitiendo a los productores acuícolas interpretar señales ambientales basándose en experiencias acumuladas tras generaciones de observación directa de los organismos acuáticos. Este tipo de saber, denominado epistemológicamente "conocimiento justificado como creencia verdadera", funciona como mapa orientador para la acción cotidiana en los cultivos, permitiendo decisiones rápidas ante perturbaciones en los sistemas de producción (Moon et al., 2021).

El conocimiento empírico en biología trasciende la mera observación cotidiana al incorporar registros sistemáticos de variables medibles como temperatura, salinidad, oxigenación y tasas de crecimiento de los organismos cultivados. Esta forma de conocimiento se construye mediante la acumulación de datos perceptibles a través de instrumentos de medición, estableciendo correlaciones entre variables ambientales y respuestas biológicas de las especies cultivadas. Sin embargo, el empirismo aislado resulta insuficiente para capturar la complejidad de los sistemas socio-ecológicos acuícolas, dado que las relaciones causales subyacentes requieren marcos teóricos que trasciendan la simple constatación de regularidades observables (Boon, 2020).

La transición hacia el conocimiento científico en biología marina implica la adopción de metodologías explícitamente diseñadas para justificar las creencias mediante procedimientos intersubjetivamente verificables. En este contexto, la ciencia acuícola se distingue por la construcción de hipótesis falsables, el diseño experimental controlado y la validación mediante revisiones por pares dentro de comunidades epistémicas especializadas. La noción de "justificación de creencias como verdaderas" adquiere aquí un estatus particular, pues el conocimiento científico se somete a criterios de fiabilidad, validez interna, objetividad y

generalizabilidad que trascienden la experiencia individual (Moon et al., 2021).

La práctica acuícola contemporánea revela tensiones epistemológicas cuando el conocimiento común de productores locales entra en contacto con el conocimiento científico generado en instituciones formales de investigación. Estas tensiones se manifiestan en la discrepancia sobre qué constituye evidencia válida: mientras los científicos priorizan datos cuantitativos reproducibles, los productores enfatizan conocimiento tácito adquirido mediante práctica prolongada. Ambas formas de saber construyen su objeto de estudio de maneras distintas, generando situaciones donde un mismo fenómeno biológico es interpretado de modos divergentes según la comunidad epistémica de pertenencia (Partelow et al., 2020).

El problema de la demarcación entre conocimiento empírico y científico se agudiza en la biología marina ante la imposibilidad de establecer experimentos controlados en condiciones oceánicas naturales. A diferencia de laboratorios terrestres, los sistemas acuícolas presentan variables difícilmente manipulables, forzando a los investigadores a depender de observaciones de campo y modelos predictivos. Esta limitación metodológica implica que el conocimiento biológico marino frecuentemente opere bajo condiciones de subdeterminación teórica, donde la evidencia disponible no determina únicamente qué teoría debe aceptarse como válida (Holman & Wilholt, 2022).

La observación en las ciencias del mar enfrenta restricciones cognitivas derivadas de las limitaciones perceptuales humanas en ambientes acuáticos. La opacidad del medio acuoso, la imposibilidad de respirar bajo el agua sin tecnología auxiliar y la presión hidrostática constituyen constraints físicos que moldean la práctica científica. Estas restricciones generan dependencias de trayectoria en la producción de conocimiento, favoreciendo métodos indirectos de muestreo y tecnologías de observación remota que transforman la naturaleza misma de la evidencia científica disponible (Perović, 2021).

Las comunidades epistémicas acuícolas evalúan el conocimiento mediante criterios diferenciados según su naturaleza. El conocimiento científico formal se somete a estándares de replicabilidad y validez externa, mientras el conocimiento empírico local se valora por su dependabilidad, credibilidad contextual y transferibilidad a condiciones similares. Esta pluralidad epistemológica exige reconocer que múltiples formas de conocimiento pueden coexistir legítimamente en la gestión de sistemas acuícolas, siempre que se expliciten los supuestos ontológicos y epistemológicos que fundamentan cada tipo de saber (Moon et al., 2021).

El conocimiento científico en biología se distingue por su pretensión de generalización más allá de casos particulares, buscando establecer regularidades nomológicas aplicables a contextos diversos. No obstante, la biología marina enfrenta el desafío de la contingencia histórica: los organismos acuáticos evolucionan, los ecosistemas se transforman y las interacciones ecológicas varían espacialmente. Esta variabilidad inherentemente situada cuestiona la posibilidad de establecer leyes universales equivalentes a las de la física, sugiriendo que el conocimiento biológico acuícola adquiere carácter provisional y contextualmente dependiente (Lorenzano & Díaz, 2020).

La racionalidad científica en la práctica acuícola exige la integración deliberativa de valores epistémicos y no epistémicos en la toma de decisiones metodológicas. Cuando los investigadores seleccionan indicadores de calidad del agua o eligen parámetros para evaluar el bienestar de organismos cultivados, enfrentan riesgos inductivos: la posibilidad de cometer errores de Tipo I o Tipo II con consecuencias prácticas significativas para la industria. Estos riesgos implican que la elección entre teorías empíricamente equivalentes no puede basarse únicamente en datos observacionales, requiriendo criterios valorativos para comprobar qué errores resultan más tolerables (Douglas, 2017).

La comprensión escolar y profesional de la naturaleza de la ciencia en biología ha sido tradicionalmente limitada, promoviendo visiones ingenuas donde se asume que los datos hablan por sí

mismos. La educación en epistemología de las ciencias de la vida debe explicitar cómo el conocimiento científico resulta de la interacción entre observación empírica, razonamiento teórico y valores contextuales. Comprender esta naturaleza resulta fundamental para formar biólogos capaces de navegar las complejidades metodológicas de la investigación acuícola contemporánea (Cofré et al., 2019).

El conocimiento en biología se produce dentro de estructuras institucionales que generan dependencias de trayectoria, favoreciendo ciertos temas, metodologías y colaboraciones internacionales sobre otras. Las infraestructuras materiales de investigación —embarcaciones, estaciones marinas, laboratorios de biología molecular— se concentran desproporcionadamente en países no tropicales con alto presupuesto en I+D, mientras la mayoría de la biodiversidad acuática se localiza en regiones tropicales con capacidad científica limitada. Esta asimetría genera dinámicas de dominación epistémica donde la agenda investigativa es establecida por centros hegemónicos del Norte global (Partelow et al., 2020).

La práctica científica acuícola opera bajo el principio de proporcionalidad epistémica: cuanto mayor es el impacto potencial de las decisiones basadas en el conocimiento, mayores son las obligaciones de investigar a fondo los fenómenos relevantes. En la gestión de bioseguridad marina, donde las invasiones de especies pueden causar daños irreversibles, la toma de decisiones bajo incertidumbre extrema exige estándares elevados de diligencia epistémica. Los gestores deben comprobar cuándo la evidencia disponible resulta suficiente para justificar acciones de erradicación o cuándo requiere investigación adicional antes de intervenir (Schwenkenbecher et al., 2023).

La integración de conocimiento científico con saberes locales en biología enfrenta el desafío de la incommensurabilidad parcial entre epistemologías objetivistas y construccionistas. Mientras la ciencia formal busca descubrir verdades objetivas independientes del contexto social, el conocimiento empírico local constituye significados que emergen de la interacción situada con el entorno

marino. Ambas aproximaciones poseen legitimidad dentro de sus respectivas comunidades epistémicas, pero su integración exige acuerdos explícitos sobre cómo justificar conjuntamente las creencias como verdaderas (Moon et al., 2021).

La producción de conocimiento científico en biología marina se caracteriza por la interacción compleja entre constraints ambientales, cognitivos y sociales. Los límites físicos del acceso al océano generan lagunas en los datos históricos, forzando a los científicos a caracterizar cambios en los ecosistemas sin líneas base adecuadas. Esta limitación técnica genera el "síndrome de la línea base cambiante", donde cada generación de investigadores toma como referencia el estado del ecosistema al inicio de su carrera, subestimando la degradación acumulada. La racionalidad científica debe incorporar humildad epistémica ante estas limitaciones inherentes (Jones & Cuypers, 2025).

El conocimiento científico en biología es inherentemente valorativo en sus elecciones metodológicas, aunque aspira a objetividad en la evaluación de evidencias. Cuando los biólogos marinos seleccionan qué variables medir en un estudio de impacto ambiental de una granja acuícola, están tomando decisiones bajo determinación incompleta donde valores no epistémicos—económicos, éticos, políticos— legítimamente influyen en la selección de indicadores. Esta influencia valorativa no invalida el conocimiento científico, siempre que permanezca transparente y sometida a escrutinio crítico por la comunidad epistémica (Resnik & Elliott, 2023).

La distinción entre ciencia y pseudociencia en la práctica acuícola no puede establecerse mediante criterios absolutos y atemporales, sino que requiere evaluación contextual de las prácticas investigativas. Las teorías biológicas que pretenden explicar el crecimiento de peces cultivados mediante mecanismos ocultos no observables, o que invocan conspiraciones para explicar la falta de evidencia a favor de sus hipótesis, operan de modo diferente al método científico estándar. Sin embargo, la demarcación debe evitar dogmatismos que excluyan *a priori*

enfoques metodológicos alternativos legítimos (Hirvonen & Karisto, 2022).

El conocimiento científico en la biología del siglo XXI opera como bien común cuyo acceso debe ser equitativo para contribuir a la sostenibilidad acuícola global. Este conocimiento constituye un bien público cuando resulta no excluible y no rival, permitiendo su utilización por múltiples actores sin disminución de su disponibilidad. La comprensión de la naturaleza del conocimiento científico implica reconocer sus dimensiones sociales y éticas, particularmente en contextos donde la investigación marina se financia públicamente y pretende servir al bienestar de comunidades dependientes de los recursos acuáticos (Radder, 2017).

5.2. La naturaleza del conocimiento biológico: leyes, teorías y modelos explicativos

La naturaleza del conocimiento biológico en biología plantea interrogantes fundamentales sobre la existencia y forma de leyes, teorías y modelos explicativos en las ciencias de la vida. A diferencia de la física, donde predominan leyes universales y matemáticamente expresadas, la biología marina opera generalmente mediante regularidades contingentes, históricamente situadas y sujetas a excepciones múltiples. Esta característica estructural del conocimiento biológico implica que las generalizaciones acuícolas —como las relaciones talla-peso o tasas de crecimiento— poseen status epistemológico diferente a las leyes fundamentales de la naturaleza (Lorenzano & Díaz, 2020).

Las teorías en biología acuícola funcionan como sistemas conceptuales organizados jerárquicamente, integrando leyes fundamentales, modelos específicos y principios guía de carácter metodológico. Una teoría como la dinámica de poblaciones acuáticas constituye una red teórica donde múltiples elementos —ecuaciones de crecimiento, modelos depredador-presa, principios de estabilidad— se interconectan mediante relaciones lógicas y empíricas. Esta estructura jerárquica permite representar diferentes niveles de abstracción, desde descripciones

fenomenológicas hasta explicaciones mecanicistas profundas (Lorenzano & Díaz, 2020).

Los modelos en la investigación acuícola desempeñan funciones representacionales, instrumentales y heurísticas simultáneamente. Un modelo bioeconómico de un sistema de cultivo de salmónidos representa selectivamente aspectos relevantes del sistema real —interacciones tróficas, flujos económicos, restricciones ambientales— mediante simplificaciones intencionales que facilitan el análisis. La efectividad de tales modelos no reside en su similitud isomórfica con la realidad, sino en su capacidad para generar predicciones útiles y orientar decisiones de manejo (Ross, 2021).

La explicación en biología marina frecuentemente recurre a mecanismos causales complejos en lugar de leyes nomológicas universales. Comprender por qué una especie cultivada presenta mortalidad masiva requiere identificar entidades componentes —parásitos, bacterias, factores ambientales estresantes— y sus actividades organizadas en patrones que producen el fenómeno observable. Esta aproximación mecanicista permite articular cómo los componentes del sistema interactúan temporalmente y espacialmente para generar los resultados explicados (Craver & Tabery, 2015).

La estrategia de construcción de modelos en biología de poblaciones acuícolas implica trade-offs inevitables entre generalidad, realismo y precisión. Según esta estrategia, ningún modelo puede maximizar simultáneamente estas tres virtudes, forzando a los investigadores a elegir qué aspectos sacrificar según los propósitos explicativos o predictivos perseguidos. Un modelo destinado a predecir rendimientos de cosecha sacrificará realismo ecológico por precisión cuantitativa, mientras uno orientado a comprender interacciones tróficas priorizará el realismo sobre la precisión numérica (Weisberg, 2006).

Las leyes en biología poseen características distintivas: son escasas, frecuentemente poseen excepciones, y a menudo están "protegidas" por cláusulas ceteris paribus que especifican condiciones ideales bajo las cuales operan. La Ley de la Respuesta

Biológica, según la cual los organismos responden a estímulos ambientales de maneras predecibles, opera solo bajo supuestos de homogeneidad poblacional y estabilidad ambiental raramente satisfechos en cultivos acuícolas reales. Estas "provisiones" protegen la ley de refutación directa, pero limitan su aplicabilidad práctica inmediata (Beatty, 1995).

La teoría de la selección natural en biología ilustra cómo principios guía de carácter metodológico orientan la investigación sin constituir leyes empíricas estrictas. El principio de que los rasgos heredables que aumentan la supervivencia reproductiva tenderán a expandirse en poblaciones funciona como heurística de investigación más que como generalización universal. Este principio-guía informa el diseño de programas de mejoramiento genético en biología, aunque sus predicciones específicas dependan de condiciones contextuales variables (Lorenzano & Díaz, 2020).

Los modelos matemáticos en biología, como las ecuaciones de crecimiento de von Bertalanffy, operan mediante idealizaciones conscientes que distorsionan deliberadamente la realidad para capturar patrones esenciales. Estas idealizaciones matemáticas asumen continuidad en variables que son discretas en la naturaleza, o infinitud en poblaciones finitas, generando artefactos de representación que deben interpretarse cautelosamente. La utilidad epistémica de tales modelos reside en su capacidad para revelar dependencias funcionales ocultas entre variables biológicas (Potochnik, 2017).

La confirmación de teorías biológicas en biología presenta desafíos particulares debido a la subdeterminación de la teoría por la evidencia disponible. Múltiples modelos ecológicos pueden ser empíricamente equivalentes respecto a un conjunto de datos observacionales, pero diferir en sus predicciones para situaciones no observadas. Esta equivalencia empírica fuerza a los científicos a invocar valores epistémicos —simplicidad, coherencia explicativa, fecundidad heurística— para justificar la elección entre teorías rivales (Alai, 2019).

Las generalizaciones en ecología acuícola frecuentemente adoptan forma de leyes nórmicas, que describen comportamientos

típicos bajo condiciones normales sin afirmar que tales comportamientos sean invariablemente universales. La generalización de que "los peces tilapia toleran rangos amplios de salinidad" describe una tendencia central sujeta a variación individual y perturbaciones contextuales. Estas leyes poseen carácter pragmático, orientando la práctica acuícola aunque careciendo del status nomológico de las leyes físicas fundamentales (Schurz, 2009).

La estructura de las teorías biológicas acuícolas puede analizarse mediante el enfoque estructuralista, que reconstruye las teorías como redes de modelos teóricos interconectados mediante relaciones de especialización, reducción y equivalencia. La teoría del crecimiento poblacional en biología constituye una red donde modelos exponenciales, logísticos y estocásticos se articulan jerárquicamente, compartiendo estructura conceptual básica pero diferenciándose en sus aplicaciones específicas. Esta reconstrucción formal permite visualizar explícitamente las relaciones interteóricas (Balzer et al., 1987).

Los modelos mecanicistas en fisiología acuícola explican fenómenos biológicos mediante la descomposición del sistema en componentes funcionales y sus interacciones. Explicar la osmorregulación en peces eurihalinos requiere identificar los componentes celulares —mitocondrias ricas en membrana, bombas de sodio-potasio, canales iónicos— y sus actividades coordinadas que mantienen la homeostasis. Esta explicación mecanicista trasciende la mera descripción fenomenológica, proporcionando comprensión de cómo el sistema produce sus capacidades funcionales (Craver & Tabery, 2015).

La contingencia histórica constituye una característica definitoria del conocimiento biológico-acuícola, reflejando que los sistemas biológicos son productos de procesos evolutivos irreversibles y no optimizados. Las soluciones fisiológicas a problemas ambientales encontradas en organismos acuáticos resultan de trayectorias evolutivas particulares, no de diseño racional desde principios fundamentales. Esta historicidad implica que las regularidades biológicas carecen de la necesidad modal

atribuida a leyes físicas universales, adquiriendo carácter provisional y contextual (Beatty, 1995).

La práctica científica acuícola integra modelos cuantitativos y cualitativos según la naturaleza del fenómeno investigado. Mientras el crecimiento individual puede modelarse matemáticamente mediante funciones deterministas, la dinámica de comunidades bentónicas en estanques de cultivo frecuentemente requiere representaciones cualitativas de interacciones complejas. Esta pluralidad metodológica refleja la diversidad ontológica del mundo biológico, resistiendo la unificación reduccionista hacia modelos puramente físicos (Dupré, 1993).

La racionalidad científica en la modelización acuícola exige equilibrar la aspiración a generalidad con la sensibilidad a particularidades contextuales. Los modelos robustos en biología marina son aquellos capaces de identificar patrones invariantes bajo variación de detalles superficiales, capturando regularidades resilientes que persisten a pesar de perturbaciones específicas. Esta búsqueda de generalizaciones resilientes constituye el núcleo epistemológico de la ciencia acuícola contemporánea, diferenciándola tanto de la física teórica como de la mera descripción naturalista (Linquist et al., 2016).

5.3. El problema de la demarcación entre ciencia y pseudociencia en el sector acuícola

El problema de la demarcación entre ciencia y pseudociencia adquiere relevancia práctica en el sector acuícola cuando prácticas sin fundamento científico —como terapias energéticas para peces o suplementos "milagrosos"— compiten por credibilidad con la biología marina establecida. La distinción filosófica clásica entre ciencia y no ciencia, atribuida tradicionalmente a Karl Popper mediante el criterio de falsabilidad, resulta insuficiente para casos limítrofes en biología aplicada. La falsabilidad extrema resulta inaplicable en sistemas biológicos donde la variabilidad inherente dificulta refutaciones definitivas (Boudry, 2022).

La aproximación naturalizada al problema de demarcación propone diagnosticar la pseudociencia mediante la identificación

de estrategias epistémicas defectuosas en la práctica investigativa, evitando criterios esencialistos atemporales. En biología, la pseudociencia se manifiesta cuando ciertos enfoques recurren a explicaciones *ad hoc* para evitar la refutación, invocan conspiraciones para descartar evidencia adversa, o protegen sus hipótesis centrales mediante estrategias inmunizadoras que las vuelven irrefutables. Estos comportamientos epistémicos patológicos distinguen la pseudociencia de la ciencia legítima, incluso cuando ambas compartan aparentemente el lenguaje de la biología (Boudry, 2022).

El nuevo problema de demarcación en filosofía de la ciencia trasciende la mera distinción binaria para examinar cómo los valores sociales influyen legítimamente en la práctica científica. En gestión pesquera y acuícola, la elección entre modelos de producción empíricamente equivalentes respecto a datos disponibles requiere considerar valores éticos y políticos. Esta influencia valorativa no convierte automáticamente la ciencia en pseudociencia, siempre que los valores operen de manera transparente y estén sujetos a deliberación crítica. La demarcación debe distinguir entre usos legítimos e ilegítimos de valores en la investigación (Resnik & Elliott, 2023).

El criterio de coherencia sistémica permite demarcar la ciencia acuícola legítima de enfoques pseudocientíficos mediante la evaluación de cómo se relacionan las teorías con evidencia existente y conocimiento establecido. Las prácticas acuícolas pseudocientíficas típicamente exhiben fragilidad epistémica: sus teorías conflictúan radicalmente con biología molecular establecida, ecología poblacional o fisiología comparada, sin proporcionar evidencia extraordinaria que justifique tal desviación. La ciencia genuina, por el contrario, busca coherencia progresiva con corpus científico acumulado (Thagard, 1978).

La promoción de tratamientos homeopáticos en biología ilustra el problema demarcatorio: tales prácticas invocan mecanismos de acción —diluciones infinitesimales que supuestamente aumentan potencia terapéutica— que contradicen principios físico-químicos fundamentales. Aunque sus defensores presenten datos

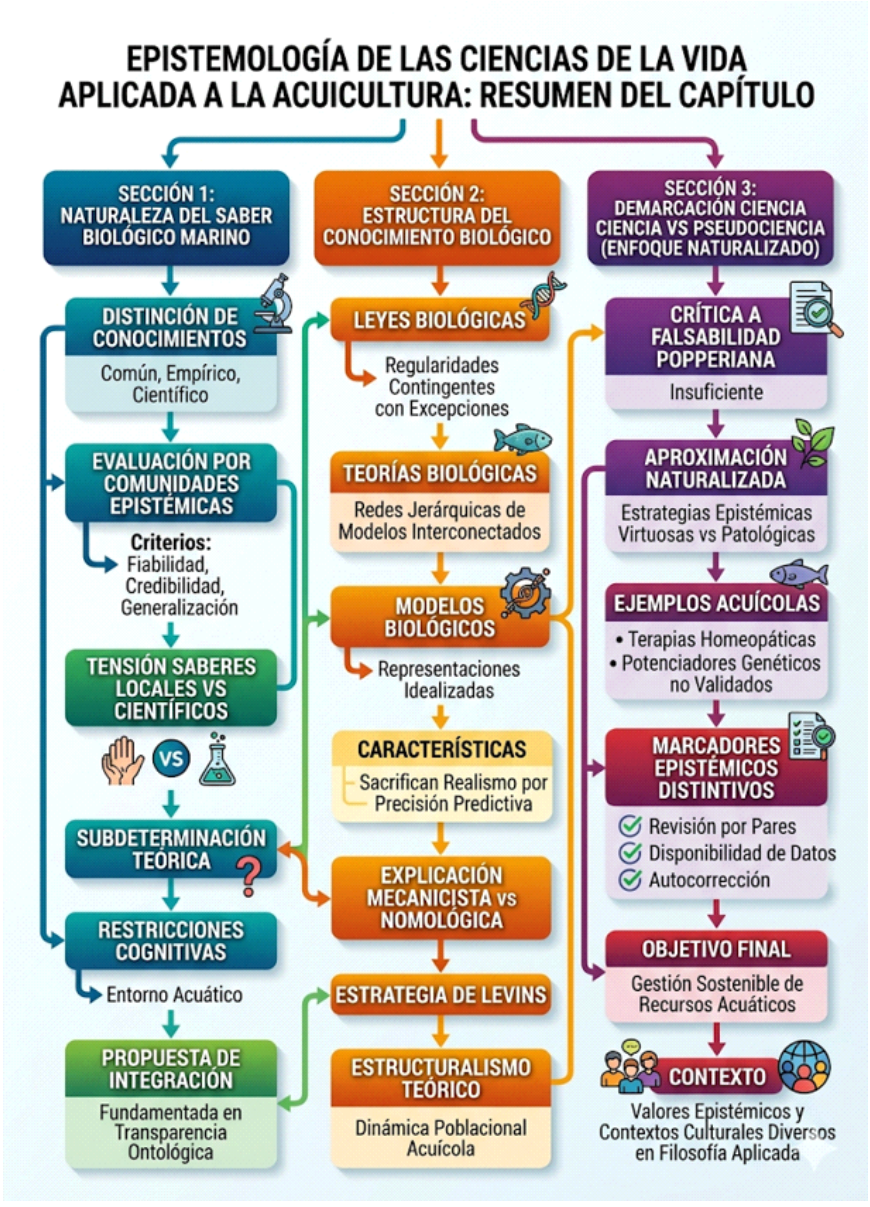
anecdóticos de "eficacia", la ausencia de mecanismos plausibles coherentes con química básica, sumada a la inconsistencia con resultados de ensayos controlados aleatorizados, sitúa estas prácticas en el territorio de la pseudociencia. El rechazo sistemático de la evidencia científica estándar constituye indicador epistémico patológico (Hansson, 2017).

El criterio de progresividad teórica, derivado del falsacionismo metodológico de Lakatos, permite evaluar si un programa de investigación acuícola genera predicciones novedosas corroboradas empíricamente. Los programas científicos progresivos anticipan fenómenos desconocidos —como la acumulación de biofármacos en tejidos de peces— y diseñan experimentos específicos para verificar tales predicciones. Los programas pseudocientíficos, en cambio, se limitan a *post-hoc* explicaciones de hechos conocidos, sin arriesgar predicciones audaces sujetas a refutación potencial (Lakatos, 1970).

La demarcación en biología marina requiere atención específica a la naturaleza histórica de las ciencias de la vida, donde la repetibilidad experimental enfrenta limitaciones ontológicas. La imposibilidad de replicar exactamente condiciones oceánicas históricas no convierte la paleoceanografía en pseudociencia, siempre que se empleen métodos independientes de corroboración. Sin embargo, el uso de esta complejidad como excusa para evitar el escrutinio crítico —alegando que "cada estanque es único" para justificar resultados irreproducibles— constituye estrategia inmunizadora característica de la pseudociencia (Hansson, 2009).

El ejemplo paradigmático de demarcación problemática en biología lo constituyen los supuestos "potenciadores genéticos naturales" comercializados sin ensayos rigurosos. Estos productos invocan mecanismos vagos de "activación de genes de crecimiento" sin especificar vías moleculares, evitando referencias medibles a expresión génica o vías de señalización celular. Cuando estudios independientes demuestran ausencia de efecto, sus defensores invocan interacciones "holísticas" no capturables por análisis reductivistas. Este desplazamiento perpetuo de la carga de prueba constituye indicador de pseudociencia (Boudry, 2022).

La ciencia acuícola genuña se distingue por su disposición a la autocorrección mediante la revisión por pares, la disponibilidad de datos brutos, y la apertura a la refutación empírica. La pseudociencia, por el contrario, típicamente evita el escrutinio independiente mediante publicación en revistas de bajo impacto sin revisión rigurosa, invoca secretos comerciales para negar acceso a metodologías, o descarta críticas como producto de "intereses corporativos". Esta resistencia sistemática al escrutinio crítico diferencia prácticas epistémicamente virtuosas de patológicas (Resnik & Elliott, 2023).


EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS DE LA VIDA APLICADA A LA ACUICULTURA: RESUMEN DEL CAPÍTULO
SECCIÓN 1: NATURALEZA DEL SABER BIOLÓGICO MARINO
DISTINCIÓN DE CONOCIMIENTOS
Común, Empírico, Científico
EVALUACIÓN POR COMUNIDADES EPISTÉMICAS
Criterios: Fiabilidad, Credibilidad, Generalización
TENSIÓN SABERES LOCALES VS CIENTÍFICOS
VS
SUBDETERMINACIÓN TEORICA
RESTRICCIONES COGNITIVAS
Entorno Acuático
PROPUESTA DE INTEGRACIÓN
Fundamentada en Transparencia Ontológica
SECCIÓN 2: ESTRUCTURA DEL CONOCIMIENTO BIOLÓGICO
LEYES BIOLÓGICAS
Regularidades Contingentes con Excepciones
TEORÍAS BIOLÓGICAS
Redes Jerárquicas de Modelos Interconectados
MODELOS BIOLÓGICOS
Representaciones Idealizadas
CARACTERÍSTICAS
Sacrifican Realismo por Precisión Predictiva
EXPLICACIÓN MECANICISTA VS NOMOLÓGICA
ESTRATEGIA DE LEVINS
ESTRUCTURALISMO TEÓRICO
Dinámica Poblacional Acuícola
SECCIÓN 3: DEMARCACIÓN CIENCIA CIENCIA VS PSEUDOCIENCIA (ENFOQUE NATURALIZADO)
CRÍTICA A FALSABILIDAD POPPERIANA
Insuficiente
APROXIMACIÓN NATURALIZADA
Estrategias Epistémicas Virtuosas vs Patológicas
EJEMPLOS ACUÍCOLAS
• Terapias Homeopáticas
• Potenciadores Genéticos no Validados
MARCADORES EPISTÉMICOS DISTINTIVOS
Revisión por Pares
Disponibilidad de Datos
Autocorrección
OBJETIVO FINAL
Gestión Sostenible de Recursos Acuáticos
CONTEXTO
Valores Epistémicos y Contextos Culturales Diversos en Filosofía Aplicada

Referencias Bibliográficas

Alai, M. (2019). The underdetermination of theories and scientific realism. Axiomathes, 29(4), 347–360. https://doi.org/10.1007/s10516-018-9384-4

Balzer, W., Moulines, C. U., & Sneed, J. D. (1987). An architectonic for science: The structuralist program. Reidel.

Beatty, J. (1995). The evolutionary contingency thesis. In G. Wolters & J. Lennox (Eds.), Theories and rationality in the biological sciences (pp. 45–81). University of Pittsburgh Press.

Boon, M. (2020). How scientists are brought back into science — The error of empiricism. In W. Hofkirchner (Ed.), The frontiers collection: Critical reflection on automated science— Will science remain human? (pp. 65–84). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25001-0_4

Boudry, M. (2022). Diagnosing pseudoscience—By getting rid of the demarcation problem. Journal for General Philosophy of Science, 53(1), 93–114. https://doi.org/10.1007/s10838-021-09572-4

Brigandt, I. (2015). Social values influence the adequacy conditions of scientific theories: Beyond inductive risk. Canadian Journal of Philosophy, 45(3), 326–356. https://doi.org/10.1080/00455091.2015.1055824

Cofré, H., Núñez, P., Santibáñez, D., Pavez, J., & Vergara, C. (2019). A critical review of students' and teachers' understandings of nature of science. Science & Education, 28(3–4), 205–247. https://doi.org/10.1007/s11191-019-00051-3

Craver, C. F., & Tabery, J. (2015). Mechanisms in science. In E. N. Zalta (Ed.), The Stanford encyclopedia of philosophy (Summer 2015 ed.). https://plato.stanford.edu/archives/sum2015/entries/science-mechanisms/

Douglas, H. (2017). Why inductive risk requires values in science. In K. C. Elliott & D. Steel (Eds.), Current controversies in values

and science (pp. 69–86). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315639420-6

Hansson, S. O. (2009). Cutting the Gordian knot of demarcation. International Studies in the Philosophy of Science, 23(3), 237–243. https://doi.org/10.1080/02698590903196037

Hansson, S. O. (2017). Science and pseudo-science. In E. N. Zalta (Ed.), The Stanford encyclopedia of philosophy (Winter 2017 ed.). https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/pseudo-science/

Hirvonen, I., & Karisto, J. (2022). Demarcation without dogmas. Theoria, 88(1), 49–65. https://doi.org/10.1111/theo.12395

Holman, B., & Wilholt, T. (2022). The new demarcation problem. Studies in History and Philosophy of Science, 91, 211–220. https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2021.11.006

Jones, E., & Cuypers, V. (2025). Marine constraints as philosophical opportunities: The Krogh principle and the benefits of philosophical engagement with the sea. History and Philosophy of the Life Sciences, 47(1), Article 68. https://doi.org/10.1007/s40656-025-00688-0

Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), Criticism and the growth of knowledge (pp. 91–196). Cambridge University Press.

Linquist, S., Gregory, T., Elliot, T., Saylor, B., Kremer, S., & Cottenie, K. (2016). Yes! There are resilient generalizations (or "laws") in ecology. The Quarterly Review of Biology, 91(2), 119–131. https://doi.org/10.1086/686318

Lorenzano, P., & Díaz, M. (2020). Laws, models, and theories in biology: A unifying interpretation. In P. Lorenzano (Ed.), Philosophical essays on the history and philosophy of biology (pp. 223–262). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39589-6_10

McComas, W. F. (2015). The nature of science & the next generation of biology education. The American Biology Teacher, 77(7), 485–491. https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.7.2

Moon, K., Cvitanovic, C., Blackman, D. A., Carilli, J., & Colburn, L. L. (2021). Five questions to understand epistemology and its influence on integrative marine research. Frontiers in Marine Science, 8, Article 574158. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.574158

Partelow, S., Hornidge, A.-K., Senff, P., Stäbler, M., & Schlüter, A. (2020). Tropical marine sciences: Knowledge production in a web of path dependencies. PLoS ONE, 15(2), Article e0228613. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228613

Perović, S. (2021). Observation, experiment, and scientific practice. International Studies in the Philosophy of Science, 35(1), 63–78. https://doi.org/10.1080/02698595.2021.1978038

Potochnik, A. (2017). Idealization and the aims of science. University of Chicago Press.

Radder, H. (2017). Which scientific knowledge is a common good? Social Epistemology, 31(5), 531–548. https://doi.org/10.1080/02691728.2017.1353656

Resnik, D. B., & Elliott, K. C. (2023). Science, values, and the new demarcation problem. Journal for General Philosophy of Science, 54(1), 63–86. https://doi.org/10.1007/s10838-022-09633-2

Ross, L. N. (2021). Causal concepts in biology: How pathways differ from mechanisms and why it matters. The British Journal for the Philosophy of Science, 72(1), 131–158. https://doi.org/10.1093/bjps/axy078

Schurz, G. (2009). Normic laws, non-monotonic reasoning, and the unity of science. In S. Rahman, J. Symons, D. M. Gabbay, & J. P. van Bendegem (Eds.), Logic, epistemology, and the unity of science (pp. 181–211). Springer.

Schwenkenbecher, A., Hewitt, C. L., Heesen, R., Campbell, M. L., Fritsch, O., Knight, A. T., & Nash, E. (2023). Epistemology of ignorance: The contribution of philosophy to the science-policy interface of marine biosecurity. Frontiers in Marine Science, 10, Article 1178949. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1178949

Thagard, P. (1978). Why astrology is a pseudoscience. Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, 1978(1), 223–234.

Weisberg, M. (2006). Forty years of 'the strategy': Levins on model building and idealization. Biology and Philosophy, 21(5), 623–645. https://doi.org/10.1007/s10539-006-9051-9

Jones, E., & Cuypers, V. (2025). Marine constraints as philosophical opportunities: The Krogh principle and the benefits of philosophical engagement with the sea. History and Philosophy of the Life Sciences, 47(1), Article 68. https://doi.org/10.1007/s40656-025-00688-0

Kuempel, C. D., Froehlich, H. E., & Halpern, B. S. (2021). An informed thought experiment exploring the potential for a paradigm shift in aquatic food production. Ocean & Coastal Management, 206, Article 105574. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105574

Moon, K., Cvitanovic, C., Blackman, D. A., Carilli, J., & Colburn, L. L. (2021). Five questions to understand epistemology and its influence on integrative marine research. Frontiers in Marine Science, 8, Article 574158. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.574158

Schwenkenbecher, A., Hewitt, C. L., Heesen, R., Campbell, M. L., Fritsch, O., Knight, A. T., & Nash, E. (2023). Epistemology of ignorance: The contribution of philosophy to the science-policy interface of marine biosecurity. Frontiers in Marine Science, 10, Article 1178949. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1178949

Capítulo 6
El método científico en biología: entre el falsacionismo y los programas de investigación

El método científico en biología: entre el falsacionismo y los programas de investigación

El método científico en biología constituye un campo problemático donde convergen presiones operativas, demandas productivas y rigor epistemológico. La investigación en sistemas acuáticos productivos no admite una única metodología universal, sino que oscila entre el ideal normativo del falsacionismo popperiano y la continuidad histórica característica de los programas de investigación lakatosianos. Esta tensión metodológica resulta particularmente evidente cuando los biólogos marinos enfrentan la complejidad de los ecosistemas acuáticos, donde las variables ambientales interactúan con los organismos cultivados de manera que dificulta la aislación de hipótesis testables. La biología demanda, por tanto, una reflexión epistemológica profunda sobre cómo se genera, valida y transforma el conocimiento científico en este dominio específico (Glavovic et al., 2021).

La aplicación mecánica del falsacionismo popperiano resulta insuficiente para capturar la dinámica real de la investigación en biología, dado que los experimentos en sistemas biológicos acuáticos dependen inevitablemente de hipótesis auxiliares relacionadas con condiciones ambientales, estado fisiológico de los organismos y técnicas de muestreo. Cuando un experimento de alimentación en truchas no produce los resultados esperados, el investigador no refuta inmediatamente la teoría nutricional subyacente, sino que examina primero las condiciones de temperatura, oxígeno disuelto o calidad del alimento utilizado. Esta complejidad metodológica ha llevado a filósofos de la ciencia a proponer modelos más sofisticados que el falsacionismo ingenuo, reconociendo que la ciencia real opera mediante programas de investigación con núcleos duros protegidos por cinturones auxiliares de hipótesis (Lakatos, 1978; Cabaret & Denegri, 2008).

La dimensión observacional en biología y etología marina enfrenta además el problema de la carga teórica de los hechos, según el cual la percepción del investigador está mediada por sus presupuestos teóricos previos. Cuando un especialista en comportamiento de peces observa una conducta de alimentación, no ve simplemente un movimiento mecánico, sino que interpreta esa acción a través de marcos conceptuales sobre etología, fisiología nutricional y dinámica de poblaciones. Esta teoría-impregnación de la observación, analizada originalmente por Hanson (1958) y desarrollada posteriormente por Kuhn (1962), implica que no existen datos brutos o neutrales en la investigación acuícola, sino hechos construidos teóricamente que requieren interpretación crítica (Schindler, 2015; Burleigh & McMurray, 2025).



6.1. El falsacionismo de Popper y el diseño experimental en biología acuática

El falsacionismo de Karl Popper establece que la demarcación entre ciencia y no ciencia reside en la susceptibilidad de las teorías a ser refutadas mediante experimentos cruciales que pongan en riesgo sus predicciones (Popper, 1959). En el contexto de la biología acuática experimental, este criterio normativo implica que toda hipótesis sobre el crecimiento de especies cultivables debe exponerse deliberadamente a condiciones que potencialmente la contradigan, en lugar de buscar meramente confirmaciones inductivas. El investigador diseña experimentos donde las variables ambientales se manipulan para producir resultados que, de no obtenerse, invaliden la teoría propuesta, estableciendo así un mecanismo de selección racional entre teorías rivales (Iqbal, 2017).

La aplicación del falsacionismo popperiano en experimentos de biología marina enfrenta, empero, la crítica del problema de Quine-Duhem, según la cual las hipótesis nunca se prueban aisladamente, sino en conjunto con supuestos auxiliares sobre instrumentos, condiciones ambientales y teorías de fondo. Cuando un ensayo de crecimiento con *Oreochromis niloticus* no confirma la expectativa teórica, el biólogo no sabe si refutar la hipótesis nutricional o cuestionar las condiciones de calidad del agua, la densidad de siembra o el estado genético de los reproductores. Esta holofalsación, como la denominan los filósofos contemporáneos, obliga al investigador acuícola a distinguir entre anomalías que refutan genuinamente la teoría central y aquellas que indican deficiencias en las hipótesis auxiliares (Lee & Pawitan, 2021).

El falsacionismo metodológico requiere que el científico acuícola especifique previamente qué observaciones contarán como básicas y qué decisiones metodológicas permitirán atribuir la refutación a la teoría central en lugar de a los auxiliares. En la práctica experimental, esto implica diseñar protocolos donde las condiciones de control sean tan rigurosas que cualquier desviación significativa del resultado predicho se atribuya necesariamente a la hipótesis principal. No obstante, la complejidad de los sistemas biológicos marinos hace que esta atribución sea frecuentemente ambigua, generando debates prolongados sobre si los resultados

negativos invalidan la teoría o simplemente reflejan artefactos experimentales (Open Science Collaboration, 2015).

La demarcación popperiana resulta especialmente problemática cuando aplicamos criterios de falsabilidad a teorías biológicas de alcance histórico o estadístico, como las leyes de crecimiento poblacional o las relaciones predator-presa en ecosistemas acuáticos. Estas teorías contienen inherentemente componentes probabilísticos que no admiten refutación definitiva mediante instancias negativas aisladas, pues las generalizaciones universales en biología permiten excepciones o variantes contextuales. El falsacionismo riguroso exigiría que tales teorías fueran consideradas metafísicas o pseudocientíficas, lo cual contradice la práctica efectiva de la biología marina contemporánea (Iqbal, 2017).

En la práctica experimental, el falsacionismo popperiano exige que los diseños experimentales en biología incorporen condiciones límite que expongan las hipótesis a situaciones de máximo riesgo epistémico. Un ejemplo paradigmático sería el diseño de experimentos sobre los efectos del dióxido de carbono disuelto en el comportamiento de peces coralinos, donde las predicciones deben ser tan precisas que cualquier desviación observable invalide la teoría subyacente sobre el mecanismo de acción del CO_2 en el sistema nervioso de los peces. Recientemente, controversias en este campo han demostrado que la replicación de experimentos en biología marina enfrenta tasas de éxito inferiores al 50 %, lo cual cuestiona la eficacia del falsacionismo simple como metodología adecuada (Clark et al., 2020).

Consideremos el primer ejemplo detallado: la hipótesis de que "el comportamiento de evasión ante depredadores en juveniles de *Amphiprion ocellaris* desaparece ante niveles de acidificación oceánica superiores a 1000 μatm de CO_2". Esta hipótesis es falsable popperianamente porque predice un fenómeno observable que, de no producirse bajo las condiciones especificadas, refutaría la teoría sobre el impacto del CO_2 en capacidades cognitivas de peces. No obstante, estudios recientes han demostrado que las fallas en replicación de estos experimentos surgen precisamente por la

dificultad de controlar todas las variables auxiliares, ilustrando los límites operativos del falsacionismo en sistemas biológicos complejos (Munday et al., 2020).

El segundo ejemplo concierne a la nutrición de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas de recirculación cerrados. La hipótesis central establece que "la inclusión de harina de insectos al 30 % sustituye completamente el valor proteico de la harina de pescado sin afectar la tasa de conversión alimenticia". Diseñar un experimento falsacionista requiere establecer criterios de rechazo previos: si el grupo experimental muestra una conversión alimenticia superior en más del 15 % al grupo control, la hipótesis se considerará refutada. Este enfoque prescriptivo obliga al nutricionista a especificar umbrales de aceptación/rechazo antes de la experimentación, evitando la tentación de ajustar post-hoc los criterios para salvar la teoría (Popper, 1959).

La crítica lakatosiana al falsacionismo popperiano en biología acuática sostiene que los científicos raramente abandonan teorías ante anomalías, sino que las protegen mediante modificaciones en el cinturón de hipótesis auxiliares. En el caso de la trucha, si el experimento muestra conversión alimenticia deficiente, el investigador no refuta la viabilidad de los insectos, sino que introduce hipótesis auxiliares sobre la necesidad de suplementación con aminoácidos específicos o la adaptación gradual del sistema digestivo. Esta estrategia de protección del núcleo teórico es considerada científicamente legítima por Lakatos (1978), siempre que genere nuevas predicciones testables.

La persistencia de programas de investigación "refutados" constituye una característica histórica de la biología marina que el falsacionismo popperiano no logra explicar adecuadamente. Durante décadas, la teoría de migración de anguilas mantuvo predicciones erróneas sobre rutas oceánicas, sin que la comunidad científica la abandonara por falsificada, sino que continuó refinando hipótesis auxiliares sobre mecanismos de orientación geomagnética hasta el desarrollo de tecnologías de telemetría que permitieron corroboración empírica. Este caso ilustra que la ciencia

acuícola progresa mediante continuidad teórica más que mediante revoluciones falsacionistas (Cabaret & Denegri, 2008).

La metodología falsacionista exige además que las hipótesis sean bold; es decir, arriesgadas y con alto contenido informativo, capaces de predecir fenómenos no observados previamente. En biología, una hipótesis audaz sería predecir que "la introducción de probióticos específicos de origen marino reduce la incidencia de *Vibrio* spp. en larvas de langosta en un 90 % durante las primeras 48 horas de exposición". Esta predicción cuantitativa precisa expone la teoría a refutación clara, cumpliendo el criterio popperiano de coraje científico, diferenciándose de las generalizaciones vagas o inmunizables contra refutación (Schindler, 2015).

Sin embargo, la práctica científica contemporánea en biología revela que los investigadores operan frecuentemente mediante verificación inductiva más que mediante falsación deductiva. Los experimentos de optimización de densidades de siembra buscan confirmar rangos operativos seguros mediante muestreos estadísticos, sin exponer la teoría a situaciones límite de refutación. Esta tensión entre la metodología prescriptiva de Popper y la práctica descriptiva real genera debates epistemológicos sobre si la biología acuática constituye una ciencia "falsacionista" genuina o una disciplina inductivo-confirmatoria con elementos falsacionistas retóricos (Iqbal, 2017).

La distinción entre falsación dogmática y metodológica resulta crucial para comprender el diseño experimental en biología. La falsación dogmática supone que una sola instancia contraria invalida la teoría universal, mientras que la falsación metodológica reconoce que la refutación requiere decisiones convencionales sobre qué enunciados básicos aceptar y qué hipótesis auxiliares modificar. El científico acuícola debe decidir, ante resultados inesperados en un ensayo de crecimiento, si rechaza la teoría nutricional, cuestiona la calidad del agua, o atribuye la anomalía a error experimental, decisiones que dependen de la tecnología aceptada y las teorías de fondo vigentes (Lakatos, 1970).

El falsacionismo popperiano, a pesar de sus limitaciones, ha contribuido a establecer estándares de rigor en la investigación experimental acuícola, particularmente en la exigencia de que las hipótesis sean explícitas y susceptibles de contraste empírico. La metodología de prerregistro de protocolos experimentales, cada vez más común en revistas de biología (*Aquaculture*, *Reviews in Aquaculture*), refleja la influencia popperiana al exigir que las predicciones y criterios de rechazo sean especificados antes de la experimentación, evitando la tentación de hipótesis *ad hoc* diseñadas para explicar cualquier resultado (Open Science Collaboration, 2015).

En conclusión, el falsacionismo proporciona un ideal normativo valioso pero insuficiente para la práctica científica en biología, donde la complejidad de sistemas, la variabilidad biológica y la interdependencia de variables exigen un enfoque más sofisticado que el refutacionismo ingenuo. La biología acuática requiere una metodología que combine el coraje falsacionista de exponer teorías a refutación con la flexibilidad de proteger núcleos teóricos mediante hipótesis auxiliares modificables, lo cual nos conduce naturalmente hacia la metodología de programas de investigación de Imre Lakatos (Lee & Pawitan, 2021).

6.2. Los programas de investigación de Lakatos y la continuidad teórica en la biología peruana

La metodología de los programas de investigación científica (SRP), desarrollada por Imre Lakatos, propone que el progreso científico no ocurre mediante falsaciones instantáneas, sino a través de la evolución de programas con núcleos duros irrefutables convencionalmente y cinturones protectores de hipótesis auxiliares modificables (Lakatos, 1978). En el contexto de la biología peruana, esta epistemología resulta particularmente pertinente para comprender cómo investigadores nacionales han mantenido continuidad teórica en el desarrollo de tecnologías de cultivos amazónicos frente a anomalías empíricas persistentes. El programa de investigación sobre *Paiche* (*Arapaima gigas*) constituye un ejemplo donde el núcleo teórico sobre fisiología de crecimiento permanece protegido mientras el cinturón auxiliar sobre

formulaciones alimenticias se ha modificado progresivamente (Dolores-Salinas & Miret-Pastor, 2025).

Los programas lakatosianos se caracterizan por heurísticas positivas que definen problemas, esbozan construcción de hipótesis auxiliares y prevén anomalías convirtiéndolas victoriosamente en ejemplos confirmatorios. En la biología peruana, el programa de investigación sobre engorde de *Langostino del Pacífico* (*Penaeus vannamei*) exhibe esta estructura: el núcleo duro establece leyes biológicas inmutables sobre muda y crecimiento exponencial, mientras el cinturón protector ha incorporado sucesivamente hipótesis sobre recirculación de agua, biofloc y sistemas multitróficos integrados. Esta articulación del cinturón protector permite al programa persistir y progresar a pesar de desafíos empíricos como brotes virales o fluctuaciones de salinidad (Cabaret & Denegri, 2008).

La distinción entre programas progresivos y degenerativos, central en la epistemología lakatosiana, permite evaluar la evolución histórica de la investigación acuícola peruana. Un programa progresivo predice hechos novedosos, mientras un programa degenerativo simplemente acomoda hechos conocidos mediante ajustes *ad hoc*. El desarrollo de la biología de truchas en los Andes peruanos ilustra un programa progresivo: desde predicciones originales sobre temperaturas óptimas, el programa generó descubrimientos imprevistos sobre adaptación a altitudes extremas (>4000 msnm), expandiendo el alcance explicativo más allá de las expectativas iniciales. En contraste, el enfoque inicial de fertilización extensiva en lagunas altoandinas demostró ser degenerativo al limitarse a explicar *post hoc* las fallas de producción sin generar predicciones nuevas (OECD, 2026).

La investigación acuícola peruana contemporánea opera predominantemente mediante programas de investigación rivales compitiendo por supremacía explicativa y recursos institucionales. El enfrentamiento entre el programa "ecológico-conservacionista", que prioriza especies nativas y sistemas de bajo impacto, y el programa "tecnológico-industrial", enfocado en rendimiento maximizado mediante tecnología intensiva, ejemplifica esta

competencia lakatosiana. Ambos programas poseen núcleos duros incompatibles —uno centrado en biodiversidad y servicios ecosistémicos, el otro en eficiencia productiva y escalabilidad comercial— y sus respectivos cinturones protectores han evolucionado para absorber anomalías sin abandonar sus principios fundamentales (Dolores-Salinas & Miret-Pastor, 2025).

La permanencia de programas "refutados" en la historia de la biología peruana confirma la intuición lakatosiana de que la ciencia real no abandona teorías ante anomalías aisladas. El programa de investigación sobre engorde de *Tambaqui* (*Colossoma macropomum*) mantuvo durante décadas predicciones erróneas sobre conversiones alimenticias en sistemas de estanques, sin ser considerado falsificado por la comunidad científica. Los investigadores protegieron el núcleo duro sobre fisiología digestiva mediante modificaciones en el cinturón auxiliar: primero atribuyeron las desviaciones a calidad de alimentos, luego a densidades de siembra, posteriormente a interacciones microbiológicas, hasta que el desarrollo de técnicas de recirculación permitió finalmente resolver las anomalías y convertirlas en corroboraciones del programa refinado (Cabaret & Denegri, 2008).

El primer ejemplo detallado de programa de investigación en biología peruana concierne al desarrollo del cultivo de *Concha de abanico* (*Argopecten purpuratus*) en la bahía de Sechura. El núcleo duro del programa establece leyes biológicas sobre filtración y acumulación de gametos, consideradas inmutables por convención metodológica. El cinturón protector ha incorporado sucesivamente hipótesis auxiliares sobre densidades de siembra, profundidades de cultivo, protección contra depredadores marinos y estrategias de manejo genético. Durante fases progresivas, el programa predijo novedades como la viabilidad de repoblamiento natural en zonas específicas de la bahía, generando corroboraciones empíricas inesperadas que expandieron el alcance teórico del programa más allá de sus aplicaciones originales (Dolores-Salinas & Miret-Pastor, 2025).

El segundo ejemplo se refiere al programa de investigación sobre *Paco* (*Piaractus brachypomus*) en la Amazonía peruana, donde la

estructura lakatosiana se manifiesta en la resistencia a abandonar el núcleo duro sobre omnivoría y eficiencia conversora, a pesar de evidencia contradictoria sobre rendimientos en cautiverio prolongado. La heurística positiva del programa dirigió la investigación hacia la modificación del cinturón protector mediante introducción de probióticos, ajustes fotoperiódicos y manipulación hormonal, transformando anomalías iniciales en confirmaciones del programa refinado. Este caso ilustra cómo la continuidad teórica en la biología peruana depende de la capacidad de los investigadores para articular hipótesis auxiliares que protejan los principios fundamentales mientras permiten adaptación empírica (OECD, 2026).

La evaluación retrospectiva de la investigación acuícola peruana permite identificar momentos lakatosianos de transición entre programas rivales. La sustitución progresiva del modelo de piscicultura extensiva por sistemas de recirculación acuática cerrada (RAS) en la tricultura andina no constituyó una falsación instantánea del paradigma anterior, sino un problema de desplazamiento teórico donde el programa RAS demostró mayor poder predictivo sobre rendimientos y calidad hídrica. La transición ocurrió cuando el programa RAS generó predicciones novedosas sobre reutilización de efluentes y control de patógenos, corroboradas empíricamente, mientras el programa extensivo se limitaba a explicar *ex post* sus limitaciones productivas (Dolores-Salinas & Miret-Pastor, 2025).

La metodología lakatosiana resalta la importancia de la anticipación teórica frente a la mera reacción ante anomalías. Un programa de investigación científica exitoso en biología anticipa contrainstancias y las transforma en confirmaciones mediante ajustes calculados en el cinturón protector. En la investigación peruana sobre alimentación de *Jurel* (*Trachurus murphyi*) en cautiverio, el programa demostró su vigor al predecir que ciertos inhibidores enzimáticos afectarían la digestibilidad, diseñando experimentos que convirtieron esta potencial anomalía en corroboración del programa mediante modificaciones específicas en formulaciones dietéticas. Este carácter predictivo distingue

programas progresivos de simples ajustes *post hoc* (Cabaret & Denegri, 2008).

La continuidad institucional de los programas de investigación en biología peruana refleja la dimensión sociológica de la epistemología lakatosiana. El programa de investigación sobre especies nativas amazónicas, liderado por el IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana), ha mantenido su núcleo duro sobre adaptación fisiológica de *Arapaima* y *Colossoma* durante décadas, no porque cada predicción haya sido corroborada, sino porque la heurística positiva ha generado problemas de investigación fecundos y técnicas experimentales sofisticadas. La estabilidad del programa depende menos de la verificación instantánea y más de su capacidad para producir nueva ciencia, nuevos instrumentos y nuevas aplicaciones prácticas para el sector productivo (Dolores-Salinas & Miret-Pastor, 2025).

El falsacionismo lakatosiano sofisticado permite comprender por qué la investigación acuícola peruana tolera cierto grado de dogmatismo teórico sin caer en el irracionalismo. La protección convencional del núcleo duro no es arbitraria sino metodológicamente justificada cuando el programa genera progreso empírico. El programa de investigación sobre camarón marino en Tumbes y Piura persistió durante años con predicciones imperfectas sobre supervivencia larvaria, protegido por su capacidad de generar nuevos subprogramas sobre genética, patología y nutrición que eventualmente resolvieron las anomalías iniciales. Esta dinámica ilustra que la racionalidad científica en biología consiste en elegir programas progresivos sobre degenerativos, más que en verificar o falsificar enunciados aislados (OECD, 2026).

Finalmente, la aplicación de la metodología de programas de investigación a la biología peruana permite evaluar críticamente la dirección actual de la ciencia nacional. La proliferación de enfoques fragmentarios sin continuidad teórica clara —característica de investigación *ad hoc* reactiva— constituye una amenaza para el progreso científico en el sector. La construcción de programas consolidados sobre larvicultura de especies nativas, bioseguridad

en sistemas multitróficos y adaptación climática de cultivos andinos representa el desafío epistemológico para los biólogos del siglo XXI en el Perú, exigiendo compromiso con núcleos teóricos robustos y heurísticas positivas generadoras de conocimiento novedoso (Dolores-Salinas & Miret-Pastor, 2025).

6.3. La "carga teórica" de los hechos observacionales en el comportamiento animal

La tesis de la carga teórica de la observación, desarrollada por Norwood Russell Hanson y Thomas Kuhn, sostiene que los hechos percibidos están inevitablemente impregnados de los presupuestos teóricos del observador, negando la existencia de datos brutos neutrales (Hanson, 1958; Kuhn, 1962). En el estudio del comportamiento animal aplicado a biología, esta implicación epistemológica resulta fundamental: cuando un etólogo observa conductas de alimentación en *Dicentrarchus labrax* o patrones de agregación en *Seriola lalandi*, no registra meros movimientos físicos sino interpretaciones teóricas sobre motivación, estados afectivos y adaptación evolutiva. La percepción está mediada por conceptos previos sobre etología funcional, neurobiología comparada y ecología evolutiva (Schindler, 2015).

La carga teórica opera en dos niveles distintos pero interrelacionados en la observación de comportamiento acuático: el nivel semántico, donde el significado de términos observacionales depende del marco teórico adoptado, y el nivel perceptual, donde la experiencia visual está conformada por expectativas cognitivas. Cuando dos investigadores observan el mismo evento —un pez que nada cerca del sustrato— uno percibe "exploración territorial" mientras otro registra "búsqueda alimentaria", dependiendo de si operan bajo el paradigma de conducta agresiva o forrajeo optimizador. Esta divergencia no refleja error empírico sino diferencias en las taxonomías teóricas que estructuran la percepción (Burleigh & McMurray, 2025).

El debate contemporáneo en filosofía de la ciencia cognitiva distingue entre carga teórica de la percepción directa y dependencia instrumental de teorías de fondo. En etología aplicada a sistemas de cultivo, ambas dimensiones son relevantes: el uso de cámaras

subacuáticas, sensores de movimiento y algoritmos de seguimiento computarizado depende de teorías sobre óptica, acústica y procesamiento de imagen que constituyen el aparato conceptual de observación. Cuando un biólogo utiliza software de seguimiento de trayectorias para analizar comportamiento de peces en un tanque de engorde, sus observaciones están mediadas por teorías computacionales sobre visión artificial y modelos matemáticos de dinámica de grupos, además de sus presupuestos etológicos sobre la especie estudiada (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2021).

La continuidad versus discontinuidad entre especies constituye un supuesto teórico particularmente influyente en la observación del comportamiento animal. Los investigadores "románticos", en la terminología de Dennett, perciben continuidad psicológica entre humanos y peces, atribuyendo estados mentales complejos a comportamientos observables; los "killjoy" interpretan los mismos movimientos como respuestas mecánicas sin contenido cognitivo. Esta polarización teórica afecta directamente las prácticas de manejo en biología: la percepción de "sufrimiento" en truchas transportadas depende de si el observador opera bajo teorías sobre consciencia pisciana o modelos conductistas de reflejos. La elección entre estos marcos no se deriva de los datos observacionales, sino que precede y estructura la observación misma (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2021).

El primer ejemplo detallado de carga teórica en comportamiento animal acuícola surge en la interpretación de conductas de "estereotipia" en peces cultivados intensivamente. El observador conductista registra movimientos repetitivos invariantes en *Salmo salar* en jaulas marinas y los clasifica como "comportamientos displásticos indicadores de malformación motora". El observador etólogo cognitivo, empleando teorías sobre bienestar animal y frustración motivacional, percibe el mismo fenómeno como "expresión de comportamiento de escape bloqueado indicativo de estrés crónico". Ambos observan idénticas contracciones musculares y trayectorias de nado, pero sus informes observacionales resultan incompatibles debido a las teorías psicológicas que estructuran sus percepciones, implicando que no existe un dato neutro sobre "lo que realmente hace el pez"

independientemente del marco teórico (Burleigh & McMurray, 2025).

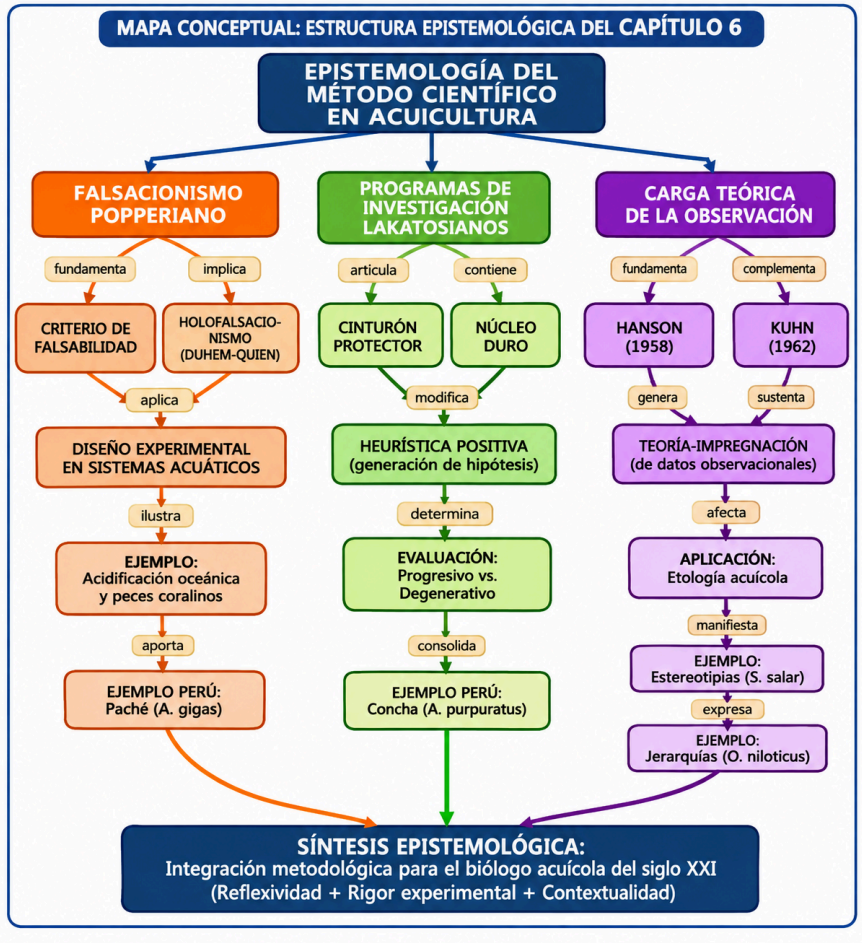
El segundo ejemplo concierne a la observación de comportamientos sociales en *Oreochromis niloticus* durante alimentación. Un investigador formado en sociobiología clásica (Wilson, 1975) observa jerarquías de dominancia estable y estructuras de "pecking order" lineales. Un investigador influenciado por teorías de complejidad social contemporáneas percibe redes dinámicas de asociación flexibles y coaliciones contextuales. La diferencia no radica en la precisión de sus registros cinematográficos, sino en los esquemas conceptuales —estáticos versus dinámicos, jerárquicos versus reticulares— mediante los cuales organizan la información sensorial. La observación de "agresión" versus "asertividad alimentaria" en un mismo evento de disputa por pellets comerciales ilustra cómo la terminología observacional está determinada teóricamente (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2021).

La implicación metodológica de la carga teórica para el diseño experimental en biología es profunda: no es posible contrastar teorías mediante observaciones teóricamente neutrales. Cuando un experimento busca comprobar si los peces perciben "dolor" o simplemente "nocicepción" ante estímulos adversos, las observaciones de respuestas motora, fisiológica y conductual estarán inevitablemente interpretadas a través del marco teórico sobre consciencia animal que el investigador asuma. La neutralidad observacional es un ideal inalcanzable, lo cual no implica relativismo epistemológico sino reconocimiento de que la objetividad científica requiere explícita reflexión sobre los compromisos teóricos que informan la percepción (Schindler, 2015).

La propuesta fenomenológica descriptiva como alternativa a la carga teórica ha surgido recientemente en etología crítica, buscando retornar a descripciones de comportamiento sin prejuicios teóricos previos. No obstante, incluso estas aproximaciones requieren categorización conceptual para comunicar resultados, reincidiendo inevitablemente en algún

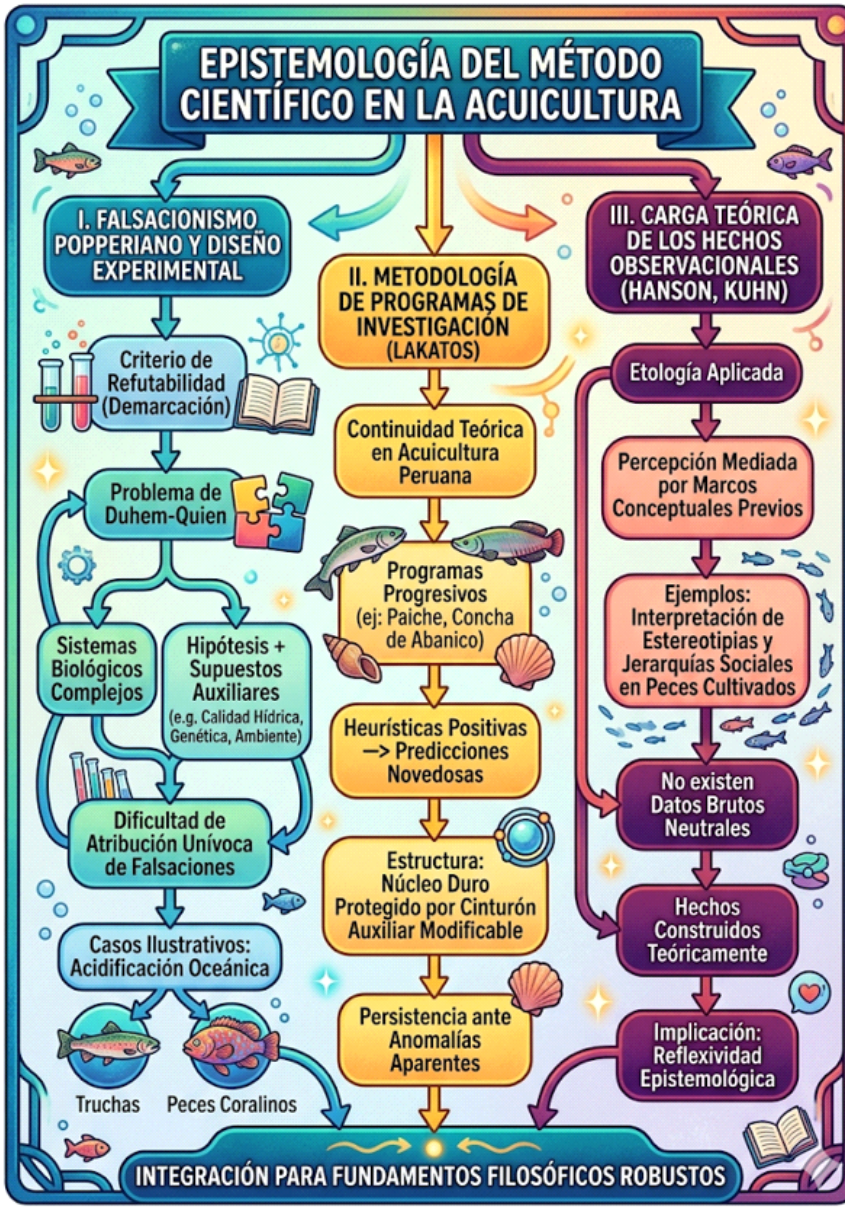
grado de teoría-impregnación. La tensión entre la necesidad de teoría para verificar y la aspiración a observación pura constituye una dialéctica constitutiva de la investigación en comportamiento animal, particularmente relevante cuando los resultados informan estándares de bienestar en instalaciones de cultivo intensivo (Burleigh & McMurray, 2025).

*En conclusión, la carga teórica de los hechos observacionales en etología aplicada implica que el biólogo acuícola debe ser explícito sobre los marcos conceptuales que informan sus observaciones, reconociendo que no existe acceso directo a conductas "puras" independientemente de la teoría. La validez intersubjetiva se logra no mediante eliminación de la teoría sino mediante articulación rigurosa de los compromisos teóricos que estructuran la percepción, permitiendo la evaluación crítica de las inferencias realizadas desde marcos alternativos. Esta reflexividad epistemológica constituye una exigencia para la ciencia acuícola del siglo XXI, comprometida tanto con el rigor experimental como con la integridad ética en el manejo de animales de cultivo (*Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2021).


MAPA CONCEPTUAL: ESTRUCTURA EPISTEMOLÓGICA DEL CAPÍTULO 6
EPISTEMOLOGÍA DEL MÉTODO CIENTÍFICO EN ACUICULTURA
FALSACIONISMO POPPERIANO
PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN LAKATOSIANOS
CARGA TEÓRICA DE LA OBSERVACIÓN
fundamenta
implica
articula
contiene
fundamenta
complementa
CRITERIO DE FALSABILIDAD
HOLOFALSACIO-NISMO (DUHEM-QUIEN)
CINTURÓN PROTECTOR
NÚCLEO DURO
HANSON (1958)
KUHN (1962)
aplica
modifica
genera
sustenta
DISEÑO EXPERIMENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS
HEURÍSTICA POSITIVA (generación de hipótesis)
TEORÍA-IMPREGNACIÓN (de datos observacionales)
ilustra
determina
afecta
EJEMPLO: Acidificación oceánica y peces coralinos
EVALUACIÓN: Progresivo vs. Degenerativo
APLICACIÓN: Etología acuícola
aporta
consolida
manifiesta
EJEMPLO PERÚ: Paché (A. gigas)
EJEMPLO PERÚ: Concha (A. purpuratus)
EJEMPLO: Estereotipias (S. salar)
expresa
EJEMPLO: Jerarquías (O. niloticus)
SÍNTESIS EPISTEMOLÓGICA:
Integración metodológica para el biólogo acuícola del siglo XXI
(Reflexividad + Rigor experimental + Contextualidad)

Resumen

Este capítulo examina epistemológicamente el método científico aplicado a la biología, articulando tres perspectivas filosóficas fundamentales. Inicialmente, analiza el falsacionismo popperiano y sus implicaciones para el diseño experimental en biología acuática. El criterio de refutabilidad demarca la ciencia genuina, aunque el problema de Duhem-Quine dificulta la atribución unívoca de falsaciones en sistemas biológicos complejos donde las hipótesis operan conjuntamente con supuestos auxiliares sobre calidad hídrica, genética y condiciones ambientales. Se ilustra mediante casos de truchas y peces coralinos sometidos a acidificación oceánica. Posteriormente, explora la metodología de programas de investigación de Lakatos, enfatizando la continuidad teórica característica de la ciencia acuícola peruana. Los programas progresivos —como los desarrollados para paiche y concha de abanico— generan predicciones novedosas mediante heurísticas positivas, protegiendo núcleos duros mediante cinturones auxiliares modificables. Esta estructura explica la persistencia histórica de teorías ante anomalías aparentes. Finalmente, examina la carga teórica de los hechos observacionales en etología aplicada. Siguiendo a Hanson y Kuhn, demuestra que la percepción del comportamiento animal está inevitablemente mediada por marcos conceptuales previos, como ocurre en la interpretación de estereotipias o jerarquías sociales en peces cultivados. La implicación metodológica es radical: no existen datos brutos neutrales, sino hechos construidos teóricamente que exigen reflexividad epistemológica en el biólogo del siglo XXI. La integración de estos enfoques proporciona fundamentos filosóficos robustos para la investigación acuícola contemporánea.


EPISTEMOLOGÍA DEL MÉTODO CIENTÍFICO EN LA ACUICULTURA
I. FALSACIONISMO POPPERIANO Y DISEÑO EXPERIMENTAL
Criterio de Refutabilidad (Demarcación)
Problema de Duhem-Quien
Sistemas Biológicos Complejos
Hipótesis + Supuestos Auxiliares
(e.g. Calidad Hídrica, Genética, Ambiente)
Dificultad de Atribución Unívoca de Falsaciones
Casos Ilustrativos: Acidificación Oceánica
Truchas
Peces Coralinos
II. METODOLOGÍA DE PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN (LAKATOS)
Continuidad Teórica en Acuicultura Peruana
Programas Progresivos (ej: Paiche, Concha de Abanico)
Heurísticas Positivas —> Predicciones Novedosas
Estructura: Núcleo Duro Protegido por Cinturón Auxiliar Modificable
Persistencia ante Anomalías Aparentes
III. CARGA TEÓRICA DE LOS HECHOS OBSERVACIONALES (HANSON, KUHN)
Etología Aplicada
Percepción Mediada por Marcos Conceptuales Previos
Ejemplos: Interpretación de Estereotipias y Jerarquías Sociales en Peces Cultivados
No existen Datos Brutos Neutrales
Hechos Construidos Teóricamente
Implicación: Reflexividad Epistemológica
INTEGRACIÓN PARA FUNDAMENTOS FILOSÓFICOS ROBUSTOS

Referencias Bibliográficas

Burleigh, J. H., & McMurray, B. (2025). Two paradigms of research and their influence on the study of animal behaviour. Applied Animal Behaviour Science, 269, 108106. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2025.108106

Cabaret, J., & Denegri, G. (2008). The scientific research programmes of Lakatos and applications in parasitology. Parasite, 15(3), 501-508. https://doi.org/10.1051/parasite/2008153501

Clark, T. D., Raby, G. D., Roche, D. G., Binning, S. A., Speers-Roesch, B., Jutfelt, F., & Norin, T. (2020). Ocean acidification does not impair the behaviour of coral reef fishes. Nature, 577(7790), 370-375. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1903-y

Dolores-Salinas, E., & Miret-Pastor, L. (2025). Aquaculture in Peru: Situation, challenges and prospects. Aquaculture, Fish and Fisheries, 3, e70082. https://doi.org/10.1002/aff2.70082

Glavovic, B. C., Kay, M. C., Clarke, J., Dowling, J. E., Ellis, K. L., Fidelman, P., Frusher, S., Gormley, K., van Ginkel, K., Lane, M., Mackay, K., McDonald, J., O'Toole, E., Reichelt-Brushett, A., Stringer, R., Tait, M., & Wilson, S. K. (2021). Five questions to understand epistemology and its influence on integrative marine research. Frontiers in Marine Science, 8, 574158. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.574158

Hanson, N. R. (1958). Patterns of discovery: An inquiry into the conceptual foundations of science. Cambridge University Press.

Iqbal, M. C. M. (2017). Falsifiability of theories in the biological sciences. Ceylon Journal of Science (Biological Sciences), 36(2), 126-133. https://doi.org/10.4038/cjsbs.v36i2.487

Kuhn, T. S. (1962). The structure of scientific revolutions. University of Chicago Press.

Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. En I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.),

Criticism and the growth of knowledge (pp. 91-196). Cambridge University Press.

Lakatos, I. (1978). The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers (Vol. 1). Cambridge University Press.

Lee, Y., & Pawitan, Y. (2021). Popper's falsification and corroboration from the statistical perspectives. arXiv preprint arXiv:2007.00238. https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.00238

Munday, P. L., Dixson, D. L., Donelson, J. M., Jones, G. P., Pratchett, M. S., Devitsina, G. V., & Døving, K. B. (2020). Repl replicated: Ocean acidification does affect the behaviour of coral reef fishes. Journal of Experimental Biology, 223(24), jeb238360. https://doi.org/10.1242/jeb.238360

Open Science Collaboration. (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. Science, 349(6251), aac4716. https://doi.org/10.1126/science.aac4716

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2026). Policies for the future of fisheries and aquaculture in Peru. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/2026/03/policies-for-the-future-of-fisheries-and-aquaculture-in-peru_9a857263.html

Popper, K. R. (1959). The logic of scientific discovery. Hutchinson.

Schindler, S. (2015). Observation and theory-ladenness. En J. D. Wright (Ed.), International encyclopedia of the social and behavioral sciences (2nd ed., pp. 387-392). Elsevier.

Stanford Encyclopedia of Philosophy. (2021). Animal cognition. https://plato.stanford.edu/entries/cognition-animal/

Capítulo 7
Paradigmas científicos y revoluciones conceptuales (Thomas Kuhn aplicado a la biología)

Paradigmas científicos y revoluciones conceptuales (Thomas Kuhn aplicado a la biología)

La epistemología de la ciencia biológica marina ha experimentado transformaciones fundamentales durante las últimas décadas, particularmente en lo concerniente a la comprensión de la producción acuícola como sistema de conocimiento científico. La aplicación del concepto kuhniano de paradigma a la biología permite comprender cómo las comunidades científicas del siglo XXI estructuran sus prácticas investigativas en torno a matrices disciplinarias compartidas que definen no únicamente los problemas legítimos, sino los métodos considerados apropiados para abordarlos.

Estas matrices disciplinarias operan como marcos interpretativos que condicionan la percepción de los fenómenos biológicos acuáticos, estableciendo qué observaciones cuentan como datos relevantes y qué explicaciones satisfacen los criterios de adecuación científica dentro de la comunidad especializada.

El concepto kuhniano de ciencia normal adquiere relevancia particular en el estudio de los sistemas acuícolas contemporáneos, pues la mayor parte de la investigación en biología marina aplicada consiste en la resolución de rompecabezas (puzzle-solving) dentro de paradigmas establecidos que raramente se cuestionan explícitamente.

Los científicos marinos trabajan dentro de tradiciones investigativas caracterizadas por la confianza en ejemplares compartidos (exemplars) que sirven como modelos de soluciones problemáticas aceptadas por la comunidad, configurando así la manera en la cual se formulan las preguntas de investigación y se interpretan los resultados experimentales en cultivos acuícolas.

Esta actividad de ciencia normal resulta extraordinariamente efectiva para acumular conocimiento detallado sobre parámetros fisiológicos, reproductivos y ecológicos de las especies cultivadas, aunque simultáneamente genera resistencia frente a anomalías que podrían cuestionar los fundamentos mismos del paradigma dominante.

Las revoluciones científicas en el ámbito acuícola se producen cuando las anomalías acumuladas —observaciones que persistentemente desafían las expectativas generadas por el paradigma vigente— generan una crisis epistemológica que eventualmente desemboca en un cambio de matriz disciplinaria.

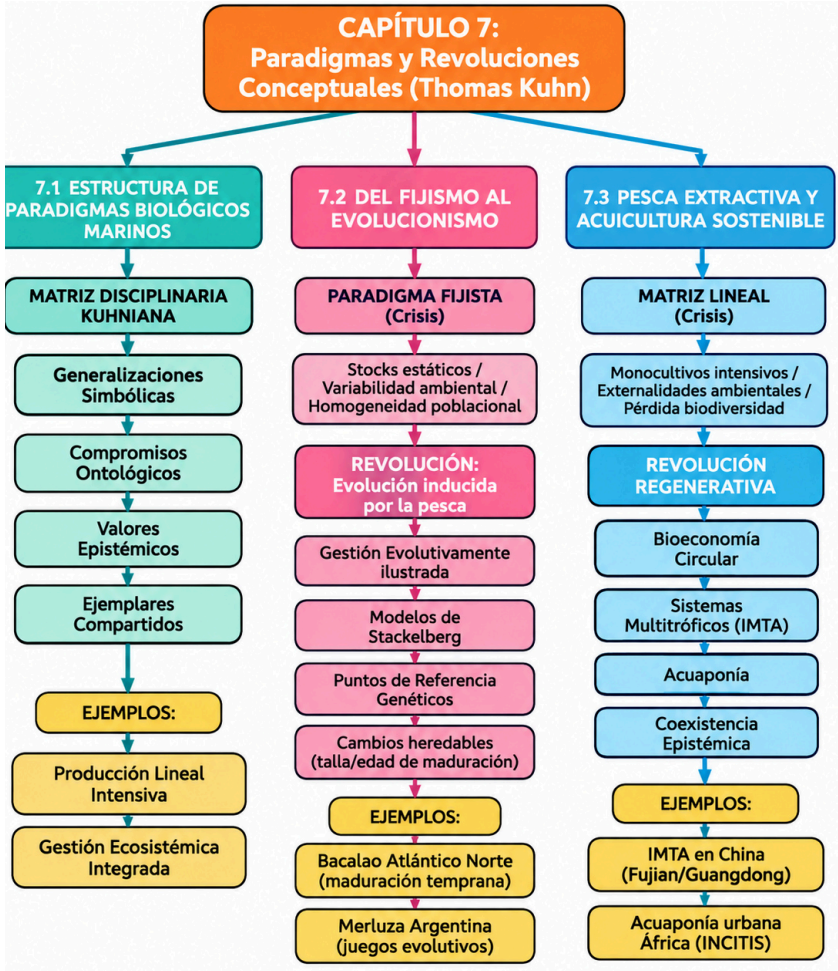
Dicho proceso revolucionario implica una reconfiguración de las generalizaciones simbólicas, compromisos ontológicos, valores epistémicos y ejemplares compartidos que definen la práctica científica normal, produciendo así una transformación en la manera en que los biólogos perciben y conceptualizan los sistemas acuícolas.

La transición implica una incommensurabilidad conceptual entre la visión anterior y la nueva, dado que los términos fundamentales —tales como "sostenibilidad", "eficiencia productiva" o "bienestar acuícola"— adquieren significados distintos bajo el nuevo paradigma.

La comprensión de la dinámica paradigmática resulta fundamental para el biólogo del siglo XXI, dado que la biología contemporánea atraviesa precisamente un período de crisis múltiple caracterizada por la acumulación de anomalías frente al paradigma extractivista tradicional.

Las evidencias sobre la insostenibilidad ecológica de modelos productivos lineales, la evolución inducida por la pesca en stocks naturales y la necesidad de transición hacia sistemas regenerativos generan las condiciones epistemológicas propicias para una revolución conceptual en la manera de concebir la producción acuícola. El profesional de la biología marina requiere, por tanto, una formación filosófica que le permita navegar conscientemente entre paradigmas competidores, reconociendo los compromisos

epistemológicos inherentes a cada matriz disciplinaria y desarrollando una postura crítica ante los supuestos fundacionales de su práctica científica.



MAPA CONCEPTUAL: PARADIGMAS Y REVOLUCIONES EN ACUICULTURA

Epistemología de la Biología Marina - Capítulo 7

7.1. Estructura de los paradigmas biológicos marinos

La estructura interna de los paradigmas científicos en biología marina puede analizarse mediante el concepto kuhniano de matriz disciplinaria (disciplinary matrix), compuesta por cuatro elementos interrelacionados que configuran la práctica investigativa de las comunidades científicas especializadas. El primer componente consiste en las generalizaciones simbólicas, expresiones formalizables que incluyen leyes científicas y definiciones operativas compartidas por la comunidad —tales como las ecuaciones de crecimiento logístico o las leyes de Mendel aplicadas a programas de mejora genética en biología— las cuales funcionan como elementos constitutivos del lenguaje científico formal.

Estas generalizaciones operan no únicamente como descripciones empíricas, sino como definiciones tautológicas que establecen los parámetros medibles y las relaciones causales consideradas legítimas dentro del paradigma vigente.

El segundo elemento comprende los compromisos ontológicos y presuposiciones metafísicas que proporcionan a la comunidad científica sus analogías preferidas, modelos heurísticos y taxonomías fundamentales para farsear el dominio de la realidad marina estudiada.

En el contexto acuícola contemporáneo, estos compromisos incluyen visiones mecanicistas del organismo acuático como máquina biológica, concepciones sistémicas del ecosistema de cultivo como entidad funcional integrada o modelos evolutivos de las poblaciones cultivadas como unidades sujetas a selección natural y artificial. Tales presupuestos metafísicos determinan qué entidades se consideran reales y merecedoras de atención científica —genes, individuos, poblaciones, ecosistemas— estableciendo jerarquías ontológicas que guían la investigación empírica.

El tercer componente involucra los valores compartidos por la comunidad científica, tales como la precisión predictiva, la consistencia interna, la amplitud de alcance explicativo, la simplicidad formal y la fecundidad heurística, los cuales sirven para evaluar las teorías y modelos propuestos dentro del paradigma.

En biología marina aplicada, estos valores se manifiestan en la preferencia por modelos de stock assessment que maximicen la precisión numérica, en la valoración de técnicas de cultivo que demuestren reproducibilidad experimental o en el prestigio otorgado a investigaciones que logren integrar múltiples niveles de organización biológica. La aplicación de estos valores resulta uniforme dentro de la comunidad, aunque la interpretación individual sobre cómo deben ponderarse puede generar divergencias metodológicas significativas.

El cuarto elemento constitutivo —y el más fundamental según la reconsideración kuhniana— lo integran los ejemplares (exemplars): soluciones concretas a problemas específicos que la comunidad acepta como paradigmáticas y que sirven como modelos para la resolución de nuevos rompecabezas científicos. En la formación de biólogos marinos, estos ejemplares incluyen casos clásicos de domesticación de especies acuícolas, protocolos estandarizados de evaluación de stocks pesqueros o modelos exitosos de gestión ecosistémica que los estudiantes aprenden a imitar y adaptar. La adquisición de la capacidad de percibir semejanzas entre problemas nuevos y estos ejemplares constituye el mecanismo central mediante el cual se transmite el conocimiento científico tácito y se perpetúa la tradición investigativa de la ciencia normal.

Ejemplo 1: El paradigma de la producción lineal en biología intensiva Durante las últimas décadas del siglo XX, la matriz disciplinaria dominante en biología comercial se estructuró en torno a generalizaciones simbólicas derivadas de la bioenergética animal y la cinética de crecimiento, compromisos ontológicos mecanicistas que conceptualizaban los organismos cultivados como convertidores biológicos de alimento en biomasa, valores epistémicos que priorizaban la eficiencia de conversión alimenticia y la maximización del rendimiento productivo, y ejemplares constituidos por los primeros éxitos de domesticación del salmón del Atlántico y la tilapia del Nilo. Este paradigma operó efectivamente para resolver rompecabezas técnicos relacionados con la optimización de formulaciones alimenticias, el control de parámetros físico-químicos del agua y la intensificación de la

densidad de cultivo, estableciendo así una ciencia normal de la producción acuícola que persistió hasta la acumulación de anomalías ecológicas y sanitarias que eventualmente generaron la crisis actual.

Ejemplo 2: La matriz disciplinaria ecosistémica en la gestión pesquera contemporánea

En contraposición al enfoque reduccionista tradicional, ha emergido una matriz disciplinaria alternativa caracterizada por generalizaciones simbólicas que incorporan modelos de dinámica de ecosistemas marinos y análisis de redes tróficas, compromisos ontológicos sistémicos que reconocen la emergencia de propiedades ecológicas irreducibles a las características individuales de las especies componentes, valores epistémicos que enfatizan la resiliencia ecosistémica y la sostenibilidad a largo plazo por encima de la maximización del rendimiento inmediato, y ejemplares proporcionados por los casos de gestión integrada de zonas costeras y la implementación de áreas marinas protegidas como herramientas de conservación pesquera. Esta matriz disciplinaria reconfigura completamente la manera de conceptualizar la intervención humana sobre los recursos marinos, sustituyendo la metáfora de la explotación por la de la gobernanza adaptativa.

7.2. Del fijismo al evolucionismo: revolución paradigmática y su impacto en el manejo de stock pesquero

La concepción tradicional de las poblaciones pesqueras operó durante décadas bajo un paradigma fijista que presupuesta la inmutabilidad temporal de las características biológicas de las especies explotadas, considerando que los parámetros demográficos y reproductivos permanecían constantes a lo largo de generaciones sucesivas. Esta matriz disciplinaria se fundamentaba en generalizaciones simbólicas matemáticas que modelaban el crecimiento poblacional mediante ecuaciones deterministas donde la variabilidad fenotípica se atribuía exclusivamente a factores ambientales, ignorando la contribución del componente genético a la dinámica temporal de los stocks.

Los gestores pesqueros operaban bajo compromisos ontológicos que concebían las poblaciones marinas como entidades estáticas, susceptibles únicamente de fluctuaciones numéricas, pero no de transformaciones evolutivas inducidas por la presión selectiva de la explotación.

La acumulación progresiva de evidencias contrarias a estas expectativas generó una crisis paradigmática de magnitud considerable durante las primeras décadas del siglo XXI. Estudios empíricos documentaron cambios fenotípicos heredables en múltiples stocks explotados, evidenciando reducciones sistemáticas en la talla media de maduración, alteraciones en los patrones de crecimiento y modificaciones en los parámetros reproductivos que no podían explicarse mediante la variabilidad ambiental exclusivamente.

Estas anomalías observacionales —detectadas inicialmente en stocks de peces planos del Atlántico Norte y posteriormente confirmadas en múltiples especies de importancia comercial— desafiaron los fundamentos del paradigma fijista al demostrar que la explotación pesquera actuaba como fuerza selectiva evolutiva de magnitud considerable.

La transición hacia un paradigma evolucionista en la gestión pesquera implicó una reconceptualización radical de las entidades teóricas fundamentales y de las relaciones causales operativas en los sistemas explotados. El concepto de evolución inducida por la pesca (fisheries-induced evolution) emergió como categoría explicativa central, redefiniendo la comprensión de cómo las prácticas extractivas humanas modifican la composición genética de las poblaciones marinas a través del tiempo.

Este cambio conceptual obligó a revisar las generalizaciones simbólicas de los modelos de evaluación de stocks, incorporando explícitamente dinámicas eco-evolutivas que vinculan la intensidad selectiva de la explotación con cambios adaptativos en los rasgos de historia de vida de las poblaciones objetivo.

Las consecuencias epistemológicas de esta revolución paradigmática se extienden más allá de la mera actualización

técnica de los modelos predictivos. La adopción del evolucionismo implica una transformación en los valores epistémicos dominantes, sustituyendo la confianza en la predictibilidad determinista por la apreciación de la plasticidad evolutiva y la incertidumbre adaptativa inherente a los sistemas biológicos explotados.

Los puntos de referencia biológicos tradicionales —tales como la biomasa máxima sostenible o las tasas de mortalidad por pesca límite— adquieren estatus de variables dinámicas sujetas a modificaciones evolutivas, requiriendo la conceptualización de nuevas categorías como puntos de referencia genéticos (Genetic Reference Points) que consideren la viabilidad adaptativa a largo plazo.

La gestión pesquera evolutivamente ilustrada (evolutionarily enlightened management) representa la materialización práctica de esta revolución paradigmática, configurando un enfoque epistemológico donde los gestores anticipan conscientemente las consecuencias selectivas de sus decisiones sobre las trayectorias evolutivas de los stocks.

Esta aproximación se formaliza mediante modelos de juegos evolutivos de Stackelberg, donde el gestor actúa como líder racional que optimiza sus decisiones considerando que las poblaciones de peces responderán evolutivamente mediante la maximización de su aptitud biológica. El equilibrio de Stackelberg así alcanzado difiere sustancialmente del equilibrio de Nash resultante de la gestión meramente ecológica, dado que incorpora la coevolución dinámica entre prácticas extractivas y rasgos de historia de vida.

La transición paradigmática se evidencia en la reconceptualización de los instrumentos de gestión tradicionales. Las regulaciones de talla mínima de captura, tradicionalmente diseñadas para proteger reproductores juveniles, se reinterpretan como mecanismos de selección artificial que inducen maduración precoz y reducción de la talla media adulta.

Análogamente, la intensidad de explotación y la selectividad del arte de pesca adquieren dimensiones evolutivas previamente ignoradas, configurando perfiles de presión selectiva que

determinan la dirección y magnitud de la respuesta adaptativa de las poblaciones explotadas. Los modelos matemáticos requieren incorporar explícitamente parámetros de tasa de evolución y matrices de selección diferencial para proporcionar predicciones robustas sobre la dinámica futura de los stocks.

Las implicaciones prácticas de esta revolución conceptual resultan de considerable magnitud para la sostenibilidad de los sistemas pesqueros. La ignorancia de los procesos evolutivos inducidos conduce a predicciones de rendimiento sustentable que resultan sistemáticamente optimistas, generando sobreexplotación crónica y colapsos poblacionales que el paradigma fijista no anticipaba ni podía explicar *post hoc*.

Contrariamente, la gestión que internaliza las dinámicas evolutivas permite diseñar estrategias de explotación que mitigan la selección hacia fenotipos no deseables, manteniendo poblaciones más resilientes y productivas en el largo plazo mediante la moderación de las tasas de captura y la optimización de la selectividad del arte de pesca.

La revolución evolucionista en la ciencia pesquera ilustra la incommensurabilidad conceptual característica de los cambios paradigmáticos kuhnianos. Bajo el paradigma fijista, los cambios fenotípicos observados en stocks explotados se clasificaban como "degradación" o "depauperación" del recurso, atribuyéndose a factores ambientales adversos o prácticas extractivas inadecuadas; bajo el paradigma evolucionista, estos mismos fenómenos se reconceptualizan como respuestas adaptativas inevitables y potencialmente reversibles ante la presión selectiva artificial impuesta por la pesca.

Esta resemantización de los fenómenos observacionales implica una transformación en la percepción misma de la realidad biológica marina, donde el tiempo evolutivo adquiere relevancia práctica para la gestión operativa de recursos explotados.

Ejemplo 1: Evolución de la maduración temprana en el bacalao del Atlántico Norte El stock de bacalao (*Gadus morhua*) del Atlántico Norte proporciona evidencia empírica

contundente de la revolución paradigmática descrita. Durante décadas de explotación intensiva mediante artes de arrastre selectivos por talla, se observó un declive progresivo en la edad y talla de primera maduración que los gestores interpretaron inicialmente como respuesta plástica fenotípica reversible mediante la reducción de la presión de pesca. Investigaciones recientes empleando análisis de matrices de proyección cuantificaron la contribución genética a estos cambios, demostrando que la explotación había inducido una evolución direccional hacia estrategias de historia de vida de maduración precoz y menor inversión en crecimiento somático, alteraciones que resultan lentamente reversibles o potencialmente irreversibles incluso bajo regímenes de explotación cero.

Este caso ejemplifica la transición de explicaciones fijistas basadas en la variabilidad ambiental hacia explicaciones evolucionistas que internalizan la heredabilidad de los rasgos de historia de vida modificados por la selección artificial.

Ejemplo 2: Modelos de juegos evolutivos en la gestión de la merluza argentina

La aplicación de modelos de juegos evolutivos de Stackelberg a la gestión de la merluza argentina (*Merluccius hubbsi*) ilustra la implementación operativa del paradigma evolucionista. Los análisis comparan tres escenarios: gestión ecológicamente ilustrada (equilibrio de Nash), gestión evolutivamente ilustrada (equilibrio de Stackelberg) y domesticación total (óptimo de equipo). Los resultados indican que el gestor evolutivamente ilustrado selecciona tasas de explotación inferiores y artes de mayor selectividad, obteniendo beneficios económicos superiores en el largo plazo mientras mantiene poblaciones con tamaños corporales próximos a los estados prístinos, en contraposición al gestor ecológico que maximiza beneficios inmediatos ignorando las consecuencias evolutivas.

Este caso demuestra cómo la adopción del nuevo paradigma genera soluciones de gestión radicalmente distintas e incommensurables con las derivadas del enfoque tradicional.

7.3. De la pesca extractiva a la biología sostenible: cambio de matriz científica y tecnológica

La transición contemporánea desde la explotación extractiva hacia sistemas acuícolas sostenibles constituye una revolución paradigmática de magnitud comparable a la transición neolítica desde la caza-recolección hacia la agricultura terrestre. Este cambio de matriz disciplinaria implica una reconfiguración fundamental de las generalizaciones simbólicas, compromisos ontológicos, valores epistémicos y ejemplares compartidos que definen la producción de alimentos acuáticos en el siglo XXI.

La presión poblacional global, la difusión cultural de nuevas prácticas productivas, la reconfiguración de derechos de propiedad sobre recursos acuáticos y los imperativos derivados del cambio climático operan como catalizadores estructurales de esta transformación, proporcionando el impulso para la transición hacia modelos productivos predominantemente basados en el cultivo acuícola.

La matriz disciplinaria emergente se caracteriza por la sustitución de generalizaciones simbólicas lineales —que modelaban la producción acuícola como proceso de conversión unidireccional de insumos en biomasa— por formulaciones circulares y regenerativas que conceptualizan los sistemas de cultivo como ecosistemas artificiales donde los subproductos de un componente constituyen recursos para otro.

Los compromisos ontológicos evolucionan desde la concepción mecanicista del organismo cultivado como unidad productiva aislada hacia la comprensión sistémica del agroecosistema acuícola como red de interacciones biotróficas y flujos biogeoquímicos. Los valores epistémicos priorizan la resiliencia ecosistémica, la eficiencia nutricional y la neutralidad climática por encima de la maximización puramente productivista del rendimiento volumétrico.

La racionalidad científica que fundamenta esta transición se distingue por la adopción de principios de bioeconomía circular y economía regenerativa, alejándose progresivamente del modelo

lineal de "extraer-producir-desperdiciar" que caracterizó la primera fase de la Revolución Azul.

Los ejemplares compartidos que guían la formación de profesionales y la resolución de problemas prácticos ya no derivan exclusivamente de los monocultivos intensivos de salmónidos o camarones, sino que incorporan casos de sistemas multitróficos integrados (IMTA), biología de bajo impacto ambiental y modelos de acuaponía que recirculan nutrientes entre componentes acuáticos y hortícolas. Esta pluralización de los ejemplares paradigmáticos refleja la diversificación epistemológica del campo.

La transformación de los sistemas alimentarios acuáticos requiere una racionalidad científica expandida que trascienda la lógica reductivista de la producción primaria para integrar dimensiones de gobernanza, equidad socioeconómica y sostenibilidad biofísica.

Los ecosistemas de innovación en biología sostenible deben estructurarse para reconfigurar políticas, incentivos, mecanismos financieros y servicios socioeconómicos de manera que promuevan la adopción acelerada de prácticas regenerativas adaptadas a contextos regionales específicos. Esta aproximación sistémica reconoce que la innovación tecnológica aislada resulta insuficiente para generar transformaciones de sostenibilidad, requiriéndose simultáneamente innovaciones institucionales, sociales y de gobernanza que reconfiguren las reglas del régimen dominante de producción acuícola.

La transición paradigmática implica una redefinición de la ontología del espacio acuícola, pasando de la concepción de los ecosistemas marinos como fuente de recursos extractables hacia la comprensión de los mismos como patrimonio biofísico que requiere custodia regenerativa. Esta resemantización se manifiesta en la evolución de la gobernanza pesquera tradicional —orientada a regular la explotación de recursos naturales— hacia marcos de gobernanza alimentaria que integran la biología en sistemas alimentarios nacionales, reconociendo la función nutricional y de seguridad alimentaria de las provisiones acuáticas más allá de su estatus como commodities de exportación.

Los actores sociales históricamente excluidos —pequeños productores, pescadores artesanales, comunidades indígenas, mujeres— adquieren visibilidad ontológica como agentes legítimos en los procesos de transformación sostenible.

La tecnociencia contemporánea proporciona herramientas epistemológicas que habilitan esta revolución paradigmática, incluyendo metodologías de evaluación de ciclo de vida (LCA), sistemas de trazabilidad digital, modelos predictivos de capacidad de carga ecosistémica y técnicas de bioseguridad molecular.

Sin embargo, la apropiación efectiva de estas herramientas requiere una racionalidad científica ampliada que reconozca la interdependencia entre dimensión técnica y dimensiones socio-institucionales de los sistemas acuícolas. La implementación de tecnologías avanzadas —tales como sistemas de recirculación acuática (RAS), alimentos formulados con ingredientes alternativos a la harina de pescado, o vacunas de nueva generación— debe acompañarse de mecanismos de inclusión financiera, capacitación técnica y gobernanza adaptativa que aseguren la equidad distributiva de los beneficios transformacionales.

La crisis del paradigma extractivista se manifiesta en la acumulación de externalidades ambientales negativas —degradación de hábitats costeros, eutrofización de cuerpos de agua, pérdida de biodiversidad, resistencia antimicrobiana— que el modelo lineal de producción resulta incapaz de internalizar ni resolver mediante ajustes incrementales.

Estas anomalías sistémicas generan las condiciones para el surgimiento de soluciones paradigmáticas alternativas basadas en la biomimética, la agroecología acuática y la producción regenerativa que busca no únicamente reducir el impacto negativo, sino generar externalidades positivas netas para los ecosistemas circundantes. El concepto de "biología regenerativa" implica activamente la restauración de servicios ecosistémicos, el secuestro de carbono y la mejora de la calidad hídrica como objetivos productivos co-iguales al suministro de alimentos.

La transición hacia la sostenibilidad exige una epistemología de la práctica acuícola que reconcilie conocimiento científico occidental con saberes tradicionales e indígenas mediante marcos de coexistencia epistémica como el "Two-Eyed Seeing" o la aproximación "Waka-Taurua".

Estos marcos reconocen la integridad epistemológica de múltiples sistemas de conocimiento —ciencia occidental, conocimiento tradicional de pescadores, saberes campesinos locales— proponiendo espacios de diálogo donde cada tradición contribuye desde sus fortalezas distintivas sin imposición asimilacionista. La gestión costera integrada y la planificación espacial marina adquieren así una dimensión epistemológica pluralista que enriquece la capacidad adaptativa de los sistemas socio-ecológicos acuícolas.

El escenario futuro de la producción acuícola se bifurca entre trayectorias alternativas radicalmente distintas: la transición ubicua hacia sistemas predominantemente acuícolas con pesca limitada a funciones de subsistencia y recreación, o la coexistencia planificada entre pesca sostenible y biología regenerativa en configuraciones territoriales optimizadas.

Cada trayectoria implica compromisos ontológicos y valorativos inconmensurables: el primer escenario prioriza la eficiencia productiva y la seguridad alimentaria global mediante la intensificación tecnificada, mientras que el segundo enfatiza la diversidad biocultural, la soberanía alimentaria local y la sinergia ecosistémica entre actividades extractivas y productivas. La elección entre estas matrices disciplinarias competidoras constituye un problema profundamente político y ético, no meramente técnico.

La racionalidad científica del siglo XXI requiere, por tanto, desarrollar capacidades de "pensamiento anticipatorio" (foresight) que permitan navegar proactivamente entre estas bifurcaciones paradigmáticas, diseñando mecanismos de gobernanza que mantengan deliberadamente abiertas las opciones transformacionales mientras se genera consenso sobre principios éticos fundamentales,

La epistemología de la biología sostenible implica reconocer que el futuro no está predeterminado por las trayectorias tecnológicas disponibles, sino que resulta del arreglo institucional de opciones sociales que la comunidad científica debe contribuir a enriquecer mediante investigación interdisciplinaria, participación inclusiva y compromiso normativo explícito con la justicia intra e intergeneracional.

Ejemplo 1: Transición hacia sistemas IMTA en la biología china

La transformación de la biología china —mayor productor mundial— ilustra la revolución paradigmática desde modelos lineales hacia sistemas circulares y regenerativos. Las prácticas tradicionales de monocultivo intensivo de carpa y tilapia en estanques, caracterizadas por altas cargas orgánicas y dependencia de inputs externos, experimentan una transición hacia sistemas multitróficos integrados donde los desechos de especies alimentadas (peces) son asimilados por organismos extractivos (moluscos, algas) que recuperan nutrientes y generan productos comerciales adicionales.

Esta transición implica una reconfiguración de la matriz disciplinaria: nuevas generalizaciones simbólicas que modelan flujos de nutrientes entre compartimentos tróficos, compromisos ontológicos que reconocen las interacciones ecológicas como propiedades emergentes del sistema, valores epistémicos que priorizan la eficiencia ecosistémica global sobre la productividad individual de especies, y ejemplares proporcionados por casos de éxito en zonas de Fujian y Guangdong donde la IMTA ha demostrado viabilidad económica y ambiental superior a los monocultivos convencionales.

Ejemplo 2: Acuaponía y economía circular en sistemas urbanos africanos

El proyecto INCITIS-FOOD implementado en Kenya, Ghana, Nigeria, Sierra Leona, Camerún y Gabón ejemplifica la revolución

paradigmática en contextos urbanos africanos mediante el establecimiento de "Living Labs" que desarrollan sistemas acuapónicos de producción circular.

Estos sistemas recirculan agua entre tanques de peces y cultivos hortícolas sin suelo, creando bucles cerrados donde los nutrientes de los desechos acuícolas fertilizan vegetales que por su parte purifican el agua de retorno. La matriz disciplinaria operativa integra generalizaciones de cinética de biofiltros y fisiología de plantas hidropónicas, compromisos ontológicos que conceptualizan el sistema como ecosistema artificial autocatalítico, valores que enfatizan la seguridad alimentaria local y la reducción de huella hídrica urbana, y ejemplares de producción comunitaria sostenible que desafían el paradigma de la biología como actividad rural costera tradicionalmente concebida.

Resumen

Este capítulo examina la epistemología kuhniana aplicada a la biología contemporánea. Analiza cómo las comunidades científicas operan bajo matrices disciplinares compuestas por generalizaciones simbólicas, compromisos ontológicos, valores epistémicos y ejemplares compartidos que definen rigurosamente la práctica investigativa normal. Describe la transición paradigmática del fijismo —que concebía históricamente los stocks pesqueros como entidades estáticas y homogéneas— hacia el evolucionismo, reconociendo la evolución inducida por la pesca como fuerza selectiva de gran magnitud que altera rasgos heredables de historia de vida en escalas temporales decadales. Explora, asimismo, el cambio de matriz científica desde la pesca extractiva lineal hacia sistemas acuícolas sostenibles fundamentados en bioeconomía circular, regeneración ecosistémica activa y pluralismo epistemológico integrador. Se ilustra mediante ejemplos empíricos concretos: estructuras paradigmáticas contrastantes en producción intensiva versus gestión ecosistémica integrada, casos documentados de evolución fenotípica en bacalao del Atlántico Norte y modelos matemáticos de juegos evolutivos aplicados a merluza argentina, complementados con transiciones hacia sistemas multitróficos integrados en China y acuaponía urbana regenerativa en África. La obra fundamenta

epistemológicamente la necesidad imperativa de una racionalidad científica ampliada para el biólogo del siglo XXI, capacitado para navegar críticamente entre paradigmas competidores, internalizar explícitamente dinámicas eco-evolutivas y liderar transformaciones sistémicas hacia prácticas verdaderamente regenerativas en seguridad alimentaria acuática.

EPISTEMOLOGÍA KUHNIANA APLICADA A LA ACUICULTURA CONTEMPORÁNEA.



Referencias Bibliográficas

Bird, A. (2013). Thomas Kuhn. Stanford Encyclopedia of Philosophy. https://plato.stanford.edu/entries/thomas-kuhn/

Brown, C. J., & Parman, A. O. (2021). Fisheries management as a Stackelberg Evolutionary Game: Finding an evolutionarily enlightened strategy. PLoS ONE, 16(1), e0245941. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245941

FAO & WEF. (2022). Accelerating transformation in aquatic food systems through holistic and inclusive innovation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb8660en

FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Froese, R., Winker, H., Coro, G., Palomares, M. L., Tsikliras, A. C., & Dimarchopoulou, D. (2023). New developments in the analysis of catch time series as the basis for fish stock assessments: The CMSY++ method. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 53(2), 173-189. https://doi.org/10.3897/aiep.53.105910

Godfrey-Smith, P. (2003). Theory and reality: An introduction to the philosophy of science. University of Chicago Press.

Gullestad, P., Aglen, A., Bjørge, A., Gjøsæter, H., Kvamme, C., & Nakken, O. (2024). Towards a more integrative paradigm in fisheries assessment. ICES Journal of Marine Science, 82(1), fsae184. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsae184

Heino, M., & Dieckmann, U. (2009). Fisheries-induced evolution. In Evolutionary conservation biology (pp. 188-199). Cambridge University Press.

Hutchings, J. A. (2009). Avoidance of fisheries-induced evolution: Management implications. Evolutionary Applications, 2(3), 288-294. https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2009.00087.x

Jørgensen, C., Enberg, K., Dunlop, E. S., Arlinghaus, R., Boukal, D. S., Brander, K., Ernande, B., Gårdmark, A., Johnston, F., Matsumura, S., Pardoe, H., Raab, K., Silva, A., Vainikka, A., Dieckmann, U., Heino, M., & Rijnsdorp, A. D. (2007). Managing evolving fish stocks. Science, 318(5854), 1247-1248. https://doi.org/10.1126/science.1148089

Kuhn, T. S. (1970). The structure of scientific revolutions (2nd ed.). University of Chicago Press.

Kuempel, C. D., Froehlich, H. E., & Halpern, B. S. (2021). An informed thought experiment exploring the potential for a paradigm shift in aquatic food production. Ocean & Coastal Management, 206, 105574. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105574

Lorenzen, K., Beveridge, M. C. M., & Mangel, M. (2012). Cultured fish: Integrative biology and sustainable aquaculture. Science, 338(6106), 35-36. https://doi.org/10.1126/science.1228732

Maxwell, K. H., Ratana, K., Davies, K. K., Taiapa, C., Awatere, S., & Rotarangi, S. (2020). Navigating towards marine co-management with Indigenous communities on-board the Waka-Taurua. Marine Policy, 111, 103722. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103722

Micheli, F., De Leo, G., Butler, A., & Shester, G. (2025). Beyond Kuhnian paradigms: Normal science and theory dependence in ecology. Ecology and Evolution, 13(7), e10255. https://doi.org/10.1002/ece3.10255

NOAA Fisheries. (2025). Stock assessment model descriptions. National Oceanic and Atmospheric Administration. https://www.fisheries.noaa.gov/insight/stock-assessment-model-descriptions

Paine, R. T. (2023). Revisiting Kuhn: Paradigms and revolutions in scientific development. International Blog on Scientific Advancement Foundation. https://www.ibsafoundation.org/en/

blog/kuhn-paradigms-and-revoluions-in-scientific-development

Salvioli, M., Dubbeldam, J., Broom, M., & Rychtár, J. (2021). Fisheries management as a Stackelberg Evolutionary Game. Journal of Theoretical Biology, 514, 110574. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2020.110574

Silliman, B. R., & Bertness, M. D. (2023). Theory dependence in salt marsh ecology. University of Florida. https://doi.org/10.5061/dryad.v6wwpzh3s

Staňková, K., Brown, J. S., & Staňková, A. (2019). Stackelberg evolutionary game theory: How to manage evolving systems. Taylor & Francis.

Thogersen, T., Kokkalis, A., Nielsen, A., & Triantafyllidis, A. (2024). Charting a science course for the sustainable transformation of aquatic food systems. ICES Journal of Marine Science, 82(1), fsae184. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsae184

Tsikliras, A. C., & Stergiou, K. I. (2024). Empirical validation of integrated stock assessment models to ensuring risk equivalence: A pathway to resilient fisheries management. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 81(4), 612-625. https://doi.org/10.1139/cjfas-2023-0287

UCC, UCD, & TU Delft. (2019). A transitions approach to developing sustainable pathways for Blue Growth. European Commission.

Van Zwieten, P. A. M., Kolding, J., Plank, M. J., Hecky, R. E., Goudswaard, P. C., & Guildford, S. J. (2016). The Nile perch invasion in Lake Victoria: Cause or consequence of the haplochromine decline? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 73(4), 622-643. https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0261

Vasilakopoulos, P., O'Neill, F. G., & Zeng, X. (2024). Paradigm shifts in fisheries management: From single-stock to ecosystem-

based approaches. Fish and Fisheries, 25(2), 245-267. https://doi.org/10.1111/faf.12734

World Economic Forum. (2023). The road to sustainable aquaculture. World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Road_to_Sustainable_Aquaculture.pdf

Zscheischler, J., Rogga, S., & Lange, A. (2018). Toward a new paradigm for growth modeling in fisheries stock assessments: Embracing plasticity and its consequences. Fisheries Research, 206, 262-274. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.04.007

Capítulo 8

Verdad, objetividad y subjetividad en la observación biológica

Verdad, objetividad y subjetividad en la observación biológica

La observación científica en biología marina y biología constituye un acto epistémico complejo donde la interacción entre el observador y el sistema observable genera interrogantes fundamentales acerca de la naturaleza de la verdad científica. La noción de verdad en el estudio del comportamiento de organismos acuáticos no puede concebirse como una correspondencia simple entre proposiciones teóricas y estados empíricos del mundo, sino como un constructo mediado por instrumentos conceptuales, prácticas metodológicas y compromisos axiológicos inherentes a la comunidad científica. La epistemología contemporánea ha demostrado que toda observación biológica está cargada de teoría, implicando que los datos relativos al comportamiento de peces y crustáceos no se presentan de manera dada, sino construida activamente mediante categorías conceptuales previas (Douglas, 2009). Esta problemática adquiere relevancia particular en la biología, donde las decisiones sobre bienestar animal, estrategias de manejo y prácticas de sacrificio involucran juicios valorativos que trascienden lo meramente empírico.

La objetividad científica tradicional ha sido definida históricamente como la ausencia de compromisos normativos contextuales en el razonamiento científico, aspirando a una neutralidad valorativa absoluta en la recolección y análisis de datos. No obstante, la investigación filosófica reciente ha cuestionado radicalmente este ideal, argumentando que tanto los valores epistémicos (precisión predictiva, simplicidad, poder explicativo) como los valores contextuales (económicos, éticos, sociales) desempeñan roles inevitables e indispensables en la práctica científica. Helen Longino ha propuesto que la objetividad se sirve mejor mediante la diversidad de participantes que aportan diferentes valores o suposiciones cargadas valorativamente al emprendimiento científico, sugiriendo que la subjetividad

individual debe transmutarse en intersubjetividad mediante la crítica comunitaria (Longino, 1990). En este sentido, la observación del comportamiento acuícola no puede aspirar a una pureza objetiva descontextualizada, sino a una objetividad procedimental alcanzada mediante la transparencia metodológica y la replicabilidad interobservador.

La subjetividad en la observación biológica marina manifiesta múltiples dimensiones que van desde la percepción sensorial individual hasta las interpretaciones teóricas influenciadas por paradigmas disciplinares. Cuando un investigador observa comportamientos de crustáceos en sistemas de producción acuícola, sus categorías perceptivas están moldeadas por formación teórica previa, expectativas experimentales y compromisos ontológicos sobre la naturaleza de la cognición animal. La subjetividad no implica necesariamente un error epistémico sino una condición inevitable de la práctica científica que debe ser reconocida, problematizada y controlada mediante protocolos metodológicos rigurosos (Burghardt et al., 2024). La carga teórica de la observación implica que los datos sobre bienestar, comportamiento agresivo o respuesta al estrés en organismos acuáticos están siempre filtrados por marcos conceptuales que determinan qué se considera observable y relevante.

El problema epistemológico fundamental reside en establecer criterios de demarcación entre la subjetividad legítima, inherente a toda práctica científica, y los sesgos sistemáticos que distorsionan la representación del mundo natural. La investigación en filosofía de la ciencia ha identificado que la subjetividad se manifiesta tanto en la selección de problemas de investigación como en la caracterización de evidencias durante estudios y en la interpretación final de datos. Para la biología, esto implica que decisiones aparentemente técnicas —como la definición de umbrales de bienestar o la identificación de comportamientos anormales— involucran juicios valorativos que deben ser explicitados y sometidos a escrutinio crítico (Bovenkerk & Meijboom, 2020). El desafío consiste en desarrollar una epistemología de la observación biológica que reconozca la

inevitabilidad de la mediación conceptual sin caer en el relativismo extremo ni en el dogmatismo metodológico.



8.1. El problema de la objetividad total en la observación del comportamiento de peces y crustáceos

La aspiración a una objetividad total en la observación del comportamiento de organismos acuáticos enfrenta limitaciones epistemológicas fundamentales derivadas de la propia naturaleza de la práctica científica. La tesis de la carga teórica de la observación, desarrollada originalmente por Norwood Russell Hanson y posteriormente refinada por filósofos de la ciencia contemporánea, establece que la percepción científica está siempre mediada por teorías, conceptos y expectativas previas. En el contexto específico de la etología acuícola, esto implica que cuando un investigador observa interacciones agonísticas entre peces en sistemas de cultivo intensivo, sus categorías de clasificación conductual están determinadas por marcos teóricos previos sobre jerarquías dominancia-subordinación que no son simplemente extraídos de los datos, sino proyectados sobre ellos (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2014). La ilusión de una observación pura e inmediata del comportamiento animal oculta la compleja mediación conceptual que hace posible que ciertos patrones sean visibles mientras otros permanecen invisibles para el observador.

El efecto observador representa una manifestación concreta de los límites de la objetividad en la investigación con organismos acuáticos. Estudios empíricos han demostrado que la presencia humana altera significativamente el comportamiento de peces y crustáceos, introduciendo un sesgo sistemático que compromete la validez ecológica de los datos recolectados. Por ejemplo, investigaciones con peces limpiadores (*Labroides dimidiatus*) han mostrado que el comportamiento frente a espejos y conspecíficos difiere sustancialmente cuando se compara con condiciones de ausencia de observadores, sugiriendo que la contingencia de la presencia humana modifica la expresión conductual (Kohda et al., 2019). Este fenómeno implica que la observación directa, considerada el gold standard metodológico, genera un paradoja epistemológica: el acto de conocer el comportamiento animal altera el objeto del conocimiento, haciendo imposible el acceso a un comportamiento "natural" o "objetivo" independiente del contexto observacional.

La construcción de etogramas —inventarios sistemáticos de comportamientos— ejemplifica la imposibilidad de una objetividad pura en la observación de crustáceos y peces. La definición de categorías conductuales requiere decisiones interpretativas sobre qué constituye una unidad de comportamiento discreta, decisiones que están influenciadas por presupuestos teóricos sobre la estructura de la conducta y sus funciones adaptativas. Cuando investigadores desarrollan etogramas para camarones o langostas en sistemas acuícolas, deben comprobar si ciertos movimientos representan comportamientos independientes o componentes de patrones más amplios, juicios que involucran inferencias sobre la intencionalidad y la motivación del organismo (Rose et al., 2021). La estandarización mediante pruebas de confiabilidad interobservador no elimina la subjetividad, sino que la gestiona colectivamente, estableciendo acuerdos intersubjetivos sobre categorías interpretativas que permanecen convencionales en última instancia.

La tecnología de monitoreo automatizado ha sido propuesta como solución para minimizar la subjetividad humana en la observación del comportamiento acuícola, prometiendo registros objetivos mediante telemetría acústica y análisis de video computarizado. Sin embargo, incluso estos sistemas incorporan sesgos en sus algoritmos de detección y clasificación, diseñados por investigadores humanos con compromisos teóricos específicos sobre qué comportamientos son relevantes y cómo deben ser operacionalizados. Los sistemas de telemetría acústica utilizados para rastrear movimientos de crustáceos requieren decisiones previas sobre intervalos de muestreo, definiciones de "hogar" y criterios de actividad que reflejan supuestos teóricos sobre la ecología espacial de estas especies (Føre et al., 2021). La objetividad pretendida de los dispositivos tecnológicos resulta ser una objetividad delegada, donde los sesgos humanos son trasladados al diseño instrumental y a los algoritmos de procesamiento de datos.

El problema de la objetividad se acentúa en estudios de bienestar animal en biología, donde los indicadores fisiológicos y conductuales deben ser interpretados mediante marcos normativos sobre qué constituye un estado de bienestar óptimo. La

investigación sobre métodos de sacrificio en crustáceos ilustra esta problemática: la determinación de cuándo un organismo ha perdido la sensibilidad nociceptiva requiere interpretaciones sobre la relación entre actividad neural, respuesta conductamental y experiencia subjetiva, interpretaciones cargadas valorativamente sobre la moralidad del dolor animal (Pascual et al., 2020). Los datos fisiológicos sobre temperatura de inactivación neural en cangrejos de río (*Procambarus clarkii*) no se interpretan aisladamente, sino enmarcados por consideraciones éticas sobre la minimización del sufrimiento, demostrando que incluso la medición aparentemente objetiva de parámetros biológicos involucra juicios normativos.

La perspectiva epistemológica de Helen Longino sobre la objetividad como producto de la crítica social ofrece una vía para navegar estas dificultades sin abandonar los ideales de rigor científico. Según esta aproximación, la objetividad no reside en la neutralidad individual sino en la estructura de la práctica científica comunitaria, donde la diversidad de perspectivas y la existencia de criterios de crítica pública permiten controlar los sesgos individuales. En la observación del comportamiento acuícola, implica que la validez de los datos no depende de eliminar la perspectiva del investigador, sino de someter las observaciones a escrutinio por múltiples observadores con diferentes formaciones teóricas y compromisos axiológicos (Longino, 2002). La confiabilidad interobservador no es meramente una técnica metodológica, sino una práctica epistémica fundamental para alcanzar objetividad mediante la intersubjetividad.

El reconocimiento de la subjetividad inevitable en la observación biológica no implica una renuncia a la verdad empírica, sino una reconceptualización de cómo se alcanza el conocimiento válido sobre sistemas vivos. La epistemología de la ciencia contemporánea distingue entre la objetividad como ausencia de valores (un ideal inalcanzable) y la objetividad como ausencia de sesgos sistemáticos distorsionadores (un ideal regulativo alcanzable mediante prácticas críticas). Para el biólogo acuícola, esto significa que debe cultivar una reflexividad epistemológica que reconozca cómo sus expectativas teóricas moldean sus percepciones, adoptando

estrategias metodológicas —como el muestreo ciego y la definición operacional rigurosa de variables— que minimicen influencias indebidas sin pretender eliminar la mediación conceptual inherente a toda observación (Douglas, 2009).

La tensión entre objetividad y subjetividad se manifiesta particularmente en la observación de comportamientos que involucran estados mentales atribuidos a peces y crustáceos. La interpretación de señales de alarma, comportamientos de sumisión o respuestas de estímulo depredador requiere atribuciones de estados cognitivos y emocionales que trascienden lo meramente observable. Cuando investigadores interpretan que un pez exhibe "miedo" o que un crustáceo muestra "estrés", están aplicando categorías psicológicas desarrolladas en otros contextos taxonómicos, introduciendo una inevitable componente interpretativa (Bovenkerk & Meijboom, 2020). La objetividad en estos casos no consiste en eliminar tales atribuciones, sino en fundamentarlas cuidadosamente mediante correlaciones con variables fisiológicas y contextuales que permitan validar constructos teóricos sobre estados internos.

Finalmente, la comprensión de que la objetividad total es un mito epistemológico debe traducirse en una humildad metodológica que reconozca las limitaciones intrínsecas de cualquier estudio conductual en biología. Esta humildad no equivale a escepticismo radical, sino a un compromiso con la transparencia acerca de los supuestos teóricos, las limitaciones metodológicas y los contextos de observación que condicionan la validez de los datos. El investigador acuícola contemporáneo debe operar bajo la conciencia de que sus observaciones son construcciones mediadas, sujetas a revisiones mediante la acumulación de evidencias convergentes desde múltiples metodologías y perspectivas teóricas (Burghardt et al., 2024).

8.2. El relativismo y el dogmatismo epistemológico: riesgos en la interpretación de datos acuícolas

El relativismo epistemológico extremo representa un peligro significativo para la investigación en biología cuando es interpretado como la imposibilidad de distinguir racionalmente

entre teorías o interpretaciones rivales sobre la base de evidencias empíricas. Esta posición, que sostiene que todas las perspectivas teóricas son igualmente válidas dependiendo del contexto cultural o individual del investigador, socava la posibilidad misma de un conocimiento fiable sobre el comportamiento y fisiología de organismos acuáticos. En la filosofía de la ciencia contemporánea, el problema de la subdeterminación de la teoría por la evidencia ha sido frecuentemente invocado para apoyar posiciones relativistas, argumentando que múltiples teorías incompatibles pueden ser igualmente compatibles con el mismo conjunto de observaciones (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2009). No obstante, esta interpretación ignora que la subdeterminación lógica no implica equivalencia epistémica, existiendo criterios como la fecundidad explicativa, la coherencia teórica y la capacidad predictiva que permiten discriminar racionalmente entre alternativas.

El dogmatismo metodológico constituye el riesgo opuesto, caracterizado por la adhesión inflexible a paradigmas o técnicas particulares de investigación sin consideración de su adecuación a fenómenos específicos. En estudios de comportamiento de peces, el dogmatismo se manifiesta cuando investigadores insisten en aplicar protocolos estandarizados desarrollados para especies modelo sin adaptarlos a las particularidades ecológicas y etológicas de especies acuícolas no tradicionales. Este rigorismo metodológico puede llevar a la aplicación mecánica de categorías conductuales inapropiadas o a la ignorancia de patrones relevantes simplemente porque no encajan en los esquemas conceptuales preestablecidos (Hensor et al., 2021). El dogmatismo epistemológico transforma herramientas metodológicas útiles en restricciones cognitivas que limitan la capacidad de percibir anomalías y generar nuevas hipótesis explicativas.

La investigación sobre bienestar en crustáceos ilustra los peligros tanto del relativismo como del dogmatismo en la interpretación de datos. Por un lado, posiciones relativistas podrían argumentar que las definiciones de bienestar son meras construcciones culturales sin fundamento biológico, justificando cualquier práctica de manejo independientemente de sus efectos sobre los organismos. Por otro lado, el dogmatismo científico

podría insistir en que solo ciertos indicadores fisiológicos específicos son válidos para evaluar bienestar, ignorando evidencias conductuales contextuales que sugieren sufrimiento en condiciones donde los parámetros fisiológicos tradicionales permanecen estables (Pascual et al., 2020). Ambas posturas extremas comprometen la integridad epistemológica de la investigación acuícola, impidiendo una evaluación matizada y contextualizada del estado de los animales.

El relativismo epistemológico se manifiesta también en la interpretación de datos sobre cognición y sensibilidad dolorosa en peces, donde la ausencia de acuerdo sobre criterios definitorios ha llevado a posiciones incompatibles aparentemente respaldadas por la misma evidencia empírica. Algunos autores interpretan la ausencia de corteza cerebral neocortical como evidencia de ausencia de experiencia consciente dolorosa, mientras otros argumentan que arquitecturas cerebrales alternativas pueden soportar estados afectivos similares. Sin criterios epistémicos compartidos para evaluar estas inferencias, el relativismo amenaza con fragmentar el discurso científico en inconmensurabilidades teóricas donde la evidencia común no permite arbitraje racional entre perspectivas rivales (Bovenkerk & Meijboom, 2020). Esta situación requiere un compromiso con estándares epistémicos intersubjetivos que trasciendan las preferencias teóricas individuales.

El dogmatismo paradigmático representa un riesgo particular en la biología cuando los investigadores se adhieren rígidamente a enfoques reduccionistas que privilegian variables cuantificables fácilmente sobre indicadores cualitativos de bienestar o comportamiento natural. La obsesión por la estandarización metodológica puede conducir a la exclusión sistemática de comportamientos idiosincrásicos o respuestas contextuales sutiles que no encajan en categorías predefinidas, generando una visión empobrecida de la biología de los organismos estudiados (Rose et al., 2021). Este dogmatismo no solo limita el avance del conocimiento, sino que puede tener consecuencias éticas graves cuando conduce a la ignorancia de estados de sufrimiento animal

que no se manifiestan a través de los indicadores convencionales establecidos.

La tensión entre relativismo y dogmatismo se resuelve epistemológicamente mediante el reconocimiento de que, si bien la teoría subdetermina la evidencia disponible en cualquier momento dado, esto no implica que todas las teorías sean igualmente racionales o que la elección entre ellas sea arbitraria. La racionalidad científica proporciona criterios para la comparación de teorías, incluyendo la capacidad de explicar fenómenos no previstos por teorías rivales, la precisión de predicciones cuantitativas y la coherencia con teorías bien establecidas en dominios adyacentes (Norton, 2008). En la interpretación de datos acuícolas, implica que posiciones que niegan la capacidad de sentir dolor en peces deben ser evaluadas no solo por su coherencia interna, sino por su capacidad de explicar comportamientos de evitación de estímulos nocivos, respuestas fisiológicas de estrés y analogías estructurales con sistemas nociceptivos de vertebrados.

El antídoto contra ambos extremos epistemológicos reside en lo que Helen Longino denomina "empirismo contextual", una posición que reconoce la inevitabilidad de valores en la ciencia mientras mantiene estándares rigurosos para la evaluación de hipótesis mediante la crítica pública y la diversidad de perspectivas. Según este enfoque, la objetividad se alcanza no mediante la eliminación de valores, sino mediante su distribución y escrutinio crítico dentro de comunidades científicas diversas (Longino, 2002). Para la biología, significa que interpretaciones controvertidas sobre bienestar animal o capacidades cognitivas deben ser sometidas a evaluación por expertos con diferentes formaciones teóricas —etólogos, neurobiólogos, filósofos, veterinarios— permitiendo que los sesgos idiosincrásicos de un grupo sean compensados por las perspectivas de otros.

El relativismo epistemológico moderado tiene una manifestación benigna cuando se traduce como reconocimiento de la pluralidad de marcos teóricos legítimos para abordar un mismo fenómeno biológico, siempre que existan criterios para evaluar su adecuación relativa. Por ejemplo, el comportamiento de

alimentación en peces puede ser estudiado desde enfoques energéticos, etológicos o neurobiológicos, cada uno ofreciendo insights parciales que complementan los otros sin ser reducibles entre sí. Sin embargo, este pluralismo metodológico se distorsiona en relativismo pernicioso cuando se abandona el compromiso con la verdad empírica y se acepta que todas las interpretaciones son igualmente válidas independientemente de su correspondencia con evidencias observables (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2009).

El dogmatismo en la interpretación de datos estadísticos representa otro riesgo significativo en investigación acuícola contemporánea. La adscripción inflexible a umbrales de significancia arbitrarios ($p < 0.05$) o a métodos analíticos específicos sin consideración de sus supuestos subyacentes puede conducir a conclusiones espurias sobre efectos de tratamientos o condiciones experimentales. Este dogmatismo metodológico se manifiesta cuando investigadores interpretan resultados estadísticos no significativos como evidencia de ausencia de efecto biológico real, ignorando consideraciones sobre poder estadístico, tamaño del efecto y relevancia biológica práctica (Douglas, 2009). La ciencia acuícola requiere una aproximación más matizada a la inferencia estadística que reconozca la distinción entre significancia estadística e importancia biológica.

Finalmente, la evitación tanto del relativismo como del dogmatismo exige una actitud epistemológica que balanceé el compromiso con marcos teóricos productivos contra la disposición a revisarlos ante evidencias anómalas persistentes. Thomas Kuhn describió este equilibrio como esencial para el progreso científico: la ciencia normal requiere dogmas paradigmáticos para canalizar la investigación eficientemente, mientras que las revoluciones científicas surgen de la capacidad de cuestionar estos dogmas ante acumulación de anomalías. En la biología, implica que los investigadores deben ser capaces de operar dentro de paradigmas metodológicos establecidos mientras mantienen una vigilancia crítica sobre datos inesperados que puedan señalar limitaciones fundamentales en estos marcos conceptuales (Tian et al., 2025).

8.3. El pensamiento crítico reflexivo como actitud filosófica del investigador acuícola

El pensamiento crítico reflexivo constituye una actitud epistemológica fundamental para el investigador contemporáneo en biología, definida como la capacidad de analizar, evaluar e interpretar información para formar juicios fundamentados mientras se mantiene consciente de los propios procesos cognitivos y sesgos. Esta competencia trasciende el dominio técnico-metodológico para adquirir dimensiones filosóficas relacionadas con la comprensión de los fundamentos epistemológicos de la práctica científica. En el contexto específico de la biología marina aplicada, el pensamiento crítico implica la disposición a cuestionar presupuestos teóricos sobre comportamiento animal, bienestar y relaciones humano-naturaleza que subyacen a prácticas de investigación y producción acuícola (Jiménez-Aleixandre & Puig, 2019).

La reflexividad epistemológica requiere que el investigador examine críticamente cómo sus propias posiciones axiológicas, formación disciplinar y contextos institucionales influyen en la formulación de preguntas, diseño experimental e interpretación de resultados. Cuando un científico diseña experimentos sobre densidades de cultivo en sistemas de peces, debe ser capaz de explicitar los valores económicos y de bienestar animal que informan sus decisiones sobre qué variables medir y cómo interpretarlas. Esta reflexividad no es un ejercicio de autoincusación, sino una práctica necesaria para garantizar la transparencia y responsabilidad en la producción de conocimiento, reconociendo que toda investigación en biología involucra juicios valorativos sobre la relación adecuada entre humanos y organismos acuáticos (Bovenkerk & Meijboom, 2020).

El pensamiento crítico en investigación acuícola se manifiesta particularmente en la capacidad de evaluar evidencias contradictorias y revisar criterios evaluativos cuando las anomalías desafían las expectativas teóricas previas. Estudios recientes sobre el desarrollo del pensamiento crítico en educación biológica han identificado que el proceso central involucra la transformación de criterios múltiples mediante el cuestionamiento activo de

evidencias contradictorias. Cuando datos experimentales sobre respuestas al estrés en crustáceos no concuerdan con modelos teóricos establecidos, el investigador crítico no descarta los datos como errores metodológicos, sino que utiliza la discrepancia como oportunidad para revisar los supuestos subyacentes y reconstruir hipótesis alternativas (Tian et al., 2025). Esta actitud requiere tolerancia a la ambigüedad epistemológica y disposición para operar provisionalmente con incertidumbre mientras se desarrollan marcos explicativos más adecuados.

La integración de perspectivas filosóficas en la formación del investigador acuícola fortalece su capacidad para navegar tensiones entre objetivos epistémicos y valores no epistémicos. La filosofía de la ciencia proporciona herramientas conceptuales para distinguir entre la influencia legítima de valores en la elección de problemas de investigación y su influencia indebida en la caracterización de evidencias o aceptación de hipótesis. Un investigador con formación filosófica será capaz de reconocer cuando consideraciones económicas están inapropiadamente influyendo en la interpretación de datos sobre eficiencia alimenticia o mortalidad en cultivos, manteniendo la integridad epistémica frente a presiones externas (Douglas, 2009).

El pensamiento crítico reflexivo se manifiesta en la práctica metodológica mediante la implementación de estrategias diseñadas explícitamente para minimizar sesgos cognitivos y sociales. Esto incluye el diseño de estudios ciegos donde los observadores desconocen las hipótesis específicas siendo probadas, la utilización de múltiples observadores independientes con diferentes sesgos teóricos esperados, y el prerregistro de protocolos experimentales para prevenir ajustes *post hoc* que confirmen expectativas previas. La investigación contemporánea en etología ha demostrado que el reporte de tales prácticas ha aumentado significativamente en las últimas décadas, aunque persisten deficiencias en la implementación de controles rigurosos contra sesgos del observador (Burghardt et al., 2024).

La disposición reflexiva implica también una actitud de escrutinio continuo hacia las categorías conceptuales utilizadas

para describir y explicar fenómenos biológicos. Los investigadores acuícolas deben ser capaces de cuestionar si categorías desarrolladas para mamíferos o aves —como "estrés crónico", "enriquecimiento ambiental" o "comportamiento anormal"— son apropiadas para peces y crustáceos, o si requieren adaptación sustancial para reflejar las especificidades fisiológicas y ecológicas de estos taxa. Este cuestionamiento no es mero nominalismo, sino un ejercicio de precisión conceptual necesario para evitar falacias de antropomorfización o, inversamente, de negación de capacidades relevantes (Rose et al., 2021).

El pensamiento crítico se conecta profundamente con la ética de la investigación cuando se consideran las implicaciones prácticas de los conocimientos generados. El investigador reflexivo debe evaluar críticamente cómo los resultados de sus estudios serán utilizados en contextos de producción acuícola comercial, considerando posibles usos indebidos o interpretaciones simplistas que comprometan el bienestar animal o la sostenibilidad ecológica. Esta responsabilidad epistémica extiende la reflexividad más allá del laboratorio hacia la esfera pública, reconociendo que los científicos tienen obligaciones morales considerando las consecuencias no epistémicas de sus decisiones metodológicas y de interpretación (Douglas, 2009).

La formación del carácter epistémico del investigador —incluyendo virtudes como la intelectual humildad, la tenacidad racional y la justicia epistémica— resulta esencial para el ejercicio sostenido del pensamiento crítico. La humildad intelectual permite reconocer las limitaciones del propio conocimiento y la posibilidad de error en las interpretaciones, evitando el dogmatismo defensivo. La justicia epistémica implica reconocer la contribución potencial de perspectivas marginadas, incluyendo conocimientos tradicionales de comunidades pesqueras o enfoques interdisciplinarios no convencionales, enriqueciendo así la base evidencial y conceptual de la investigación (Medina, 2013).

Finalmente, el pensamiento crítico reflexivo debe traducirse en prácticas de investigación que promuevan la transparencia, reproducibilidad y apertura a la crítica externa. Esto incluye la

disponibilidad de datos brutos, la especificación explícita de procedimientos analíticos, y el compromiso con la publicación de resultados negativos o nulos que son frecuentemente ocultados por sesgos de publicación. Tales prácticas no son meramente cuestiones de ética de la investigación, sino componentes epistemológicos esenciales para el avance del conocimiento, permitiendo que la comunidad científica evalúe críticamente las bases empíricas de afirmaciones teóricas y prácticas en biología (Nosek et al., 2015).

Resumen

Este capítulo examina los fundamentos epistemológicos de la observación biológica en biología, problematizando las nociones de verdad, objetividad y subjetividad en el estudio científico de peces y crustáceos. Se argumenta que toda observación científica está inevitablemente mediada por teorías previas, valores epistémicos y contextos socioculturales específicos, haciendo inalcanzable el ideal de objetividad pura e inmediata. La influencia del observador sobre el comportamiento animal, la carga teórica de los etogramas y los sesgos instrumentales demuestran que los datos acuícolas constituyen construcciones interpretativas mediadas más que reflejos directos de la realidad natural. Se analizan críticamente los riesgos epistemológicos del relativismo extremo —que invalida criterios de demarcación entre teorías rivales— y del dogmatismo metodológico —que impide la innovación paradigmática mediante adherencia rígida a técnicas estandarizadas inapropiadas. Ambos extremos comprometen gravemente la integridad del conocimiento científico sobre bienestar animal y etología. Como alternativa viable, se propone el pensamiento crítico reflexivo: una actitud filosófica profesional que integra la conciencia de los propios sesgos cognitivos, la transparencia metodológica explícita, la intersubjetividad comunitaria y la disposición a revisar supuestos teóricos fundamentales ante evidencias anómalas persistentes. Esta postura epistemológica, fundamentada en el empirismo contextual de Longino y la diversidad de perspectivas críticas teóricas rigurosas, constituye la base necesaria científica para una


FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS DE LA OBSERVACIÓN BIOLÓGICA EN ACUICULTURA
TODA OBSERVACIÓN CIENTÍFICA ESTÁ MEDIADA
TEORÍAS PREVIAS
VALORES EPISTÉMICOS
CONTEXTOS SOCIOCULTURALES
HACE INALCANZABLE EL IDEAL DE OBJETIVIDAD PURA E INMEDIATA
INFLUENCIA DEL OBSERVADOR SOBRE COMPORTAMIENTO
DATOS ACUÍCOLAS: CONSTRUCCIONES INTERPRETATIVAS MEDIADAS
CARGA TEÓRICA DE ETOGRAMAS
SESGOS INSTRUMENTALES
RELATIVISMO EXTREMO
INVALIDA CRITERIOS DE DEMARCACIÓN ENTRE TEORÍAS RIVALES
RIESGOS EPISTEMOLÓGICOS
DOGMATISMO METODOLÓGICO
IMPEDIMENTOS A LA INNOVACIÓN PARADIGMÁTICA
ADHERENCIA RÍGIDA A TÉCNICAS INAPROPIADAS
COMPROMETEN GRAVEMENTE LA INTEGRIDAD DEL CONOCIMIENTO SOBRE BIENESTAR ANIMAL Y ETOLOGÍA
CONCIENCIA DE PROPIOS SESGOS COGNITIVOS
TRANSPARENCIA METODOLÓGICA EXPLÍCITA
INTERSUBJETIVIDAD COMUNITARIA
ALTERNATIVA VIABLE: PENSAMIENTO CRÍTICO REFLEXIVO
INTERSUBJETIVIDAD COMUNITARIA
DISPOSICIÓN A REVISAR SUPUESTOS ANTE EVIDENCIAS ANÓMALAS
FUNDAMENTADO EN EL EMPIRISMO CONTEXTUAL DE LONGINO Y DIVERSIDAD DE PERSPECTIVAS CRÍTICAS RIGUROSAS
BASE NECESARIA CIENTÍFICA PARA UNA BIOLOGÍA MARINA APLICADA: RESPONSABLE ÉTICAMENTE Y EPISTÉMICAMENTE ROBUSTA EN EL SIGLO XXI

Referencias Bibliográficas

Bovenkerk, B., & Meijboom, F. (2020). Ethics and the welfare of fish. En T. S. Kristiansen, A. Fernö, M. A. Pavlidis, & H. van de Vis (Eds.), The welfare of fish (pp. 19-42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41675-1_2

Burghardt, G. M., Bartness, L., Gordon, M., & Owens, J. L. (2024). Minimizing observer bias in animal behavior studies revisited: Improvement, but a long way to go. Ethology, 130(6), e13446. https://doi.org/10.1111/eth.13446

Douglas, H. (2009). Science, policy, and the value-free ideal. University of Pittsburgh Press.

Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J. A., Dempster, T., ... & De Jong, F. (2021). Automatic monitoring of relevant behaviors for crustacean production in aquaculture: A review. Animals, 11(9), 2709. https://doi.org/10.3390/ani11092709

Hensor, E. M., Godley, B. J., & Broderick, A. C. (2021). A new evidence-based approach for assessing the status of data-deficient species. Biological Conservation, 253, 108867. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108867

Jiménez-Aleixandre, M. P., & Puig, B. (Eds.). (2019). Critical thinking in biology and environmental education. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7

Kohda, M., Hotta, T., Takeyama, T., Awata, S., Tanaka, H., Asai, J., & Jordan, A. L. (2019). If a fish can pass the mark test, what are the implications for consciousness and self-awareness testing in animals? PLoS Biology, 17(2), e3000021. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000021

Longino, H. E. (1990). Science as social knowledge: Values and objectivity in scientific inquiry. Princeton University Press.

Longino, H. E. (2002). The fate of knowledge. Princeton University Press.

Medina, J. (2013). The epistemology of resistance: Gender and racial oppression, epistemic injustice, and resistant imaginations. Oxford University Press.

Norton, J. D. (2008). Must evidence underdetermine theory? En M. Carrier, D. Howard, & J. Kourany (Eds.), The challenge of the social and the pressure of practice: Science and values revisited (pp. 17-44). University of Pittsburgh Press.

Nosek, B. A., Spies, J. R., & Motyl, M. (2015). Scientific utopia: II. Restructuring incentives and practices to promote truth over publishability. Perspectives on Psychological Science, 10(6), 616-631. https://doi.org/10.1177/1745691615590458

Pascual, C., Zarain-Herzberg, M., & Cuzon, G. (2020). Physiological and behavioral indicators to measure crustacean welfare. Frontiers in Veterinary Science, 7, 1360239. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1360239

Rose, P. E., Nash, S. M., & Riley, L. M. (2021). Conducting behavioural research in the zoo: A guide to ten important methods, concepts and theories. Zoo Biology, 2(3), 31. https://doi.org/10.3390/zoo2030031

Stanford Encyclopedia of Philosophy. (2009). Underdetermination of scientific theory. https://plato.stanford.edu/entries/scientific-underdetermination/

Stanford Encyclopedia of Philosophy. (2014). Scientific objectivity. https://plato.stanford.edu/entries/scientific-objectivity/

Tian, F., Li, Y., & Liu, X. (2025). Critical thinking in biology education: Insights from Kuhn's paradigm shifts. Frontiers in Education, 8, 12937608. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.12937608

Parte III
Axiología, Ética Y Responsabilidad Social En La Biología

Axiología, ética y responsabilidad social en la biología

La axiología constituye el fundamento epistemológico mediante el cual se examinan los valores inherentes a las prácticas biológicas en sistemas acuícolas, trascendiendo la mera consideración instrumental de los organismos acuáticos. Di Paola (2024) distingue entre valor instrumental, valor final relacional y valor intrínseco independiente, categorías aplicables a los peces y crustáceos cultivados según su complejidad fenomenológica y su capacidad de experiencia subjetiva. La asignación de valor intrínseco a entidades no humanas implica reconocer dignidad ontológica independiente de la utilidad antropocéntrica, exigiendo a los biólogos acuícolas una revisión de las jerarquías axiológicas tradicionales. Este marco filosófico problematiza las prácticas extractivistas al cuestionar la supremacía humana en la determinación del valor moral, proponiendo instead una eco-axiología donde la diversidad biológica marina ostenta consideración ética per se (Di Paola, 2024).

La dimensión ética en la producción acuícola contemporánea demanda atención rigurosa al bienestar animal, reconociendo la capacidad nociceptiva y potencialmente emocional de los organismos acuáticos cultivados. Ciliberti et al. (2024) sostienen que la evaluación del bienestar debe fundamentarse en parámetros objetivos inherente a la fisiología específica, incluyendo calidad del agua, densidad poblacional, enriquecimiento ambiental y protocolos de sacrificio humanitario. La complejidad epistemológica reside en la heterogeneidad taxonómica de las especies cultivadas, imposibilitando generalizaciones universalistas sobre el estatus moral de los peces. El establecimiento de estándares éticos requiere integración multidimensional entre evidencia científica, marcos regulatorios evolutivos y prácticas empresariales responsables, garantizando condiciones que resguarden tanto la integridad física como la homeostasis conductual de los individuos acuáticos (Ciliberti et al., 2024).

La responsabilidad social en las cadenas globales de valor acuícola trasciende el ámbito zootécnico para abarcar justicia distributiva, equidad de género, derechos laborales y soberanía alimentaria de comunidades ribereñas. Kittinger et al. (2017) argumentan que la sostenibilidad sectorial depende de la implementación de políticas explícitas que protejan derechos humanos, eliminen subsidios perversos ligados a la pesca ilegal y promuevan acceso equitativo a recursos marinos. Este enfoque reconoce la interdependencia ontológica entre la salud ecosistémica y el bienestar humano, rechazando la fragmentación disciplinar entre ética ambiental y justicia social. El compromiso con prácticas socialmente responsables implica reconocer que la producción acuícola sostenible requiere simultaneidad en la protección de ecosistemas marinos y la dignificación de quienes dependen extractivamente de dichos sistemas (Kittinger et al., 2017).

La epistemología de la biología requiere transición hacia ontologías procesuales que comprendan los sistemas socio-ecológicos como entrelazamientos dinámicos de relaciones constitutivas, entidades estables y potencialidades virtuales. Mancilla García et al. (2020) proponen un giro procesual que abandone la reificación de objetos biológicos en favor de la comprensión de flujos, transformaciones y emergencias en ecologías acuáticas cultivadas. Esta perspectiva metodológica implica que el conocimiento científico no constituye representación estática de la realidad, participación activa en la co-constitución de los sistemas investigados. El biólogo del siglo XXI debe asumir responsabilidad epistémica por los efectos preformativos de sus prácticas de conocimiento, reconociendo que la separación sujeto-objeto en la investigación acuícola constituye una ficción metafísica que oculta la interconexión ontológica entre investigador, tecnología y organismo acuático (Mancilla García et al., 2020).

Capítulo 9
Fundamentos éticos para el biólogo

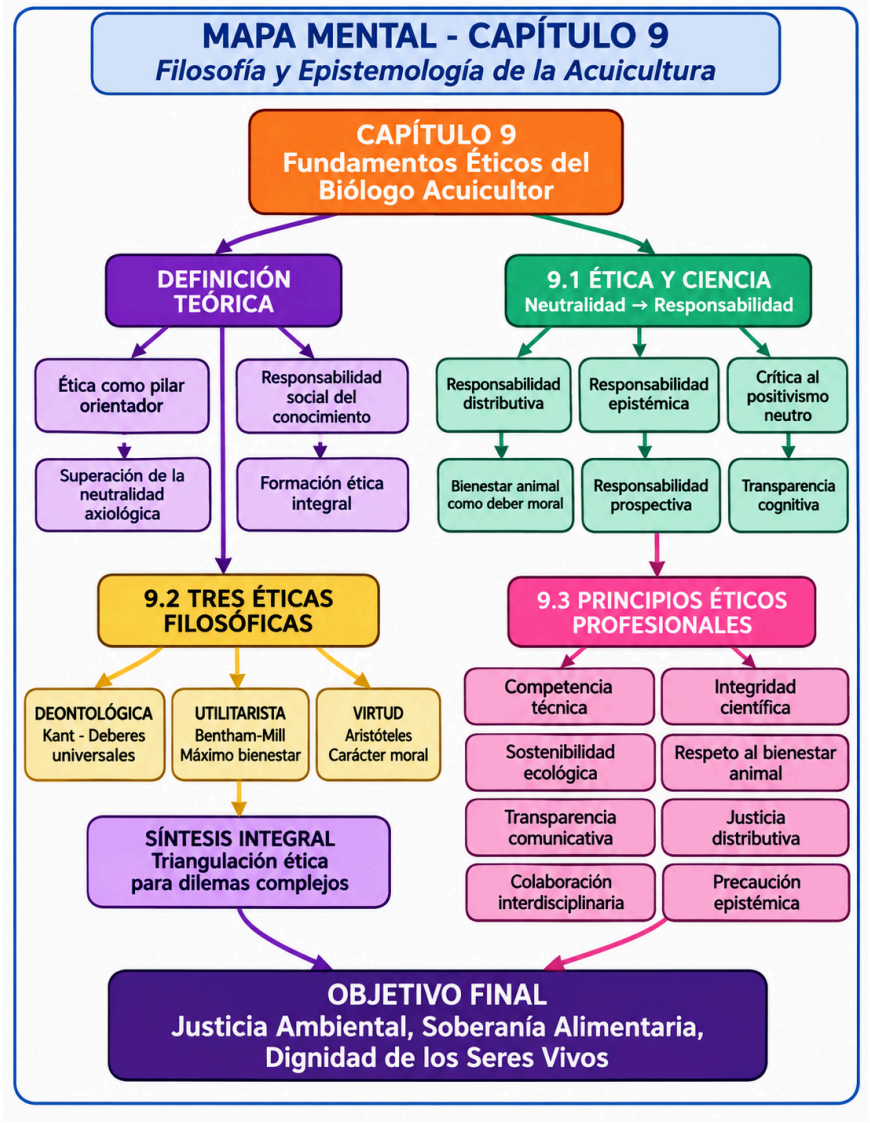
Fundamentos éticos para el biólogo

La ética constituye el pilar fundamental que orienta la práctica científica del biólogo hacia la construcción de conocimiento responsable y socialmente pertinente. La disciplina biológica, particularmente en contextos acuícolas, enfrenta dilemas morales complejos que trascienden la mera aplicación técnica de métodos experimentales, exigiendo una reflexión profunda sobre los valores que informan la investigación y la producción acuícola. El biólogo del siglo XXI opera en un escenario donde las decisiones sobre manipulación genética, bienestar animal, sostenibilidad ambiental y seguridad alimentaria poseen implicaciones éticas que afectan ecosistemas, comunidades humanas y generaciones futuras. Comprender los fundamentos éticos resulta imperativo para transformar la práctica biológica en una actividad genuinamente humana, orientada hacia el bien común y la preservación de la dignidad de todos los seres vivos involucrados en los sistemas acuícolas (Christians, 2016).

La epistemología contemporánea ha abandonado la noción ingenua de una ciencia completamente desvinculada de consideraciones axiológicas, reconociendo instead que todo acto de conocimiento científico implica posicionamientos valorativos inevitables. La investigación biológica en biología no constituye una actividad puramente objetiva y neutral, sino que está mediada por elecciones metodológicas, interpretaciones teóricas y aplicaciones prácticas que cargan con implicaciones morales significativas. El biólogo debe desarrollar una conciencia ética refinada capaz de discernir cómo sus prácticas de laboratorio y campo afectan la vida de los organismos acuáticos, la integridad de los ecosistemas y las comunidades humanas dependientes de estos recursos. Esta conciencia ética no se limita al cumplimiento normativo de regulaciones, sino que abarca una reflexión profunda sobre el sentido último de la actividad científica y su contribución al bienestar general (Farina y Lavazza, 2024).

La responsabilidad social del biólogo en contextos acuícolas exige la integración sistemática de consideraciones éticas en todas las fases del proceso de investigación y producción. Desde la concepción del proyecto experimental hasta la aplicación de los resultados en sistemas productivos reales, el profesional de la biología debe evaluar constantemente las consecuencias morales de sus acciones sobre los organismos cultivados, el ambiente acuático y las sociedades humanas. Esta responsabilidad trasciende el ámbito individual, configurándose como un compromiso colectivo de la comunidad científica con la sociedad que financia y beneficia de sus investigaciones. El biólogo debe asumirse como agente moral cuya labor científica produce efectos palpables en el mundo social y natural, obligándose a rendir cuentas éticas de sus decisiones técnicas y epistémicas (Pretorius, 2024).

La formación ética del biólogo requiere una educación integral que combine el dominio técnico de las ciencias biológicas con la capacidad de reflexión filosófica sobre los valores fundamentales que orientan la acción humana. Esta formación debe preparar al profesional para enfrentar situaciones dilemáticas donde los intereses económicos, ecológicos y de bienestar animal entran en tensión, facilitando herramientas conceptuales para la deliberación moral fundamentada. El objetivo consiste en cultivar profesionales capaces de ejercer la biología acuícola como una práctica virtuosa, caracterizada por la sabiduría práctica, la sensibilidad moral y el compromiso con la justicia ambiental y social. La ética profesional en biología emerge así como un dominio específico de la filosofía aplicada, dedicado a examinar los principios normativos que deben regir la conducta de quienes intervienen sistemáticamente sobre la vida acuática (Hofmann, 2023).


MAPA MENTAL - CAPÍTULO 9
Filosofía y Epistemología de la Acuicultura
CAPÍTULO 9
Fundamentos Éticos del Biólogo Acuicultor
DEFINICIÓN TEÓRICA
Ética como pilar orientador
Responsabilidad social del conocimiento
Superación de la neutralidad axiológica
Formación ética integral
9.1 ÉTICA Y CIENCIA
Neutralidad → Responsabilidad
Responsabilidad distributiva
Responsabilidad epistémica
Crítica al positivismo neutro
Bienestar animal como deber moral
Responsabilidad prospectiva
Transparencia cognitiva
9.2 TRES ÉTICAS FILOSÓFICAS
DEONTOLÓGICA
Kant - Deberes universales
UTILITARISTA
Bentham-Mill
Máximo bienestar
VIRTUD
Aristóteles
Carácter moral
SÍNTESIS INTEGRAL
Triangulación ética para dilemas complejos
9.3 PRINCIPIOS ÉTICOS PROFESIONALES
Competencia técnica
Integridad científica
Sostenibilidad ecológica
Respeto al bienestar animal
Transparencia comunicativa
Justicia distributiva
Colaboración interdisciplinaria
Precaución epistémica
OBJETIVO FINAL
Justicia Ambiental, Soberanía Alimentaria, Dignidad de los Seres Vivos

9.1. La relación entre ética y ciencia: de la neutralidad axiológica a la responsabilidad del conocimiento

La concepción tradicional de la ciencia como empresa epistémica neutral ha sido cuestionada rigurosamente por la filosofía de la ciencia contemporánea, particularmente en lo que respecta a las investigaciones biológicas con implicaciones sociales directas. El ideal de neutralidad axiológica, propugnado inicialmente por el positivismo lógico, sostenía que la ciencia debía ocuparse exclusivamente de hechos observables, manteniendo una separación tajante entre el conocimiento objetivo y los valores subjetivos. Esta postura ha demostrado ser insostenible epistemológicamente, pues toda investigación científica implica decisiones valorativas en la selección de problemas, la elección de métodos, la interpretación de datos y la aplicación de resultados. La biología acuícola, al intervenir directamente sobre sistemas vivos y proveer alimentos esenciales para poblaciones humanas, constituye un campo donde la neutralidad resulta particularmente problemática e insostenible (Rykova, 2018).

La transición desde la neutralidad axiológica hacia la responsabilidad del conocimiento implica reconocer que el biólogo ejerce un poder epistémico significativo sobre la configuración de la realidad social y natural. Las decisiones sobre qué especies cultivar, qué tecnologías implementar y cómo gestionar los recursos acuáticos poseen consecuencias éticas que afectan la distribución de bienes, la preservación de la biodiversidad y la calidad de vida de comunidades enteras. El conocimiento biológico no es un mero reflejo pasivo de la naturaleza, sino una intervención activa que transforma los ecosistemas y las prácticas humanas. Esta comprensión exige que el científico asuma la responsabilidad ética de las implicaciones prácticas de sus descubrimientos, reconociendo que la autoridad epistémica conlleva obligaciones morales hacia la sociedad y el ambiente (Gupta et al., 2022).

La responsabilidad ética en la investigación biológica acuícola se manifiesta primordialmente en la necesidad de considerar el bienestar de los organismos acuáticos como sujetos de interés moral legítimo. Durante décadas, la investigación con peces e invertebrados acuáticos operó bajo supuestos que minimizaban su

capacidad de sentir y sufrir, justificando prácticas experimentales potencialmente dañinas sin consideración ética apropiada. La evidencia científica contemporánea ha demostrado que muchas especies acuáticas poseen sistemas nerviosos complejos capacitados para experimentar estados negativos asociados al dolor, el miedo y el estrés. Esta comprensión obliga al biólogo a revisar críticamente sus protocolos experimentales y prácticas de manejo, implementando medidas de refinamiento, reducción y reemplazo que minimicen el sufrimiento animal sin comprometer la validez científica de la investigación (Sloman et al., 2019).

La dimensión social de la responsabilidad científica en biología abarca la obligación de asegurar que los conocimientos generados contribuyan genuinamente al bienestar humano y a la justicia ambiental. Las innovaciones biotecnológicas, como la edición genética o la producción de organismos transgénicos, poseen potenciales beneficios para la seguridad alimentaria, pero también encierran riesgos de dependencia económica, pérdida de biodiversidad y concentración de poder corporativo. El biólogo debe evaluar críticamente para quién y con qué fines se destinan los resultados de su investigación, evitando que el conocimiento biológico sirva para perpetuar desigualdades estructurales o daños ambientales irreversibles. Esta responsabilidad social exige una vigilancia constante sobre los usos prácticos de la ciencia biológica en contextos acuícolas (Browman et al., 2019).

La epistemología de la responsabilidad exige además la transparencia cognitiva en la comunicación de la incertidumbre y los riesgos asociados a las intervenciones biológicas en sistemas acuáticos. El biólogo debe reconocer explícitamente los límites de su conocimiento, las contingencias metodológicas y las posibles consecuencias no deseadas de las tecnologías acuícolas implementadas. Esta actitud epistémica honesta permite a la sociedad tomar decisiones informadas sobre la aceptabilidad de determinadas prácticas acuícolas, respetando la autonomía de los ciudadanos para deliberar colectivamente sobre el tipo de desarrollo tecnológico deseado. La ciencia biológica responsable no oculta sus incertidumbres ni exagera sus certezas, sino que presenta los resultados con la debida cautela epistémica que la

complejidad de los sistemas biológicos y sociales exige (Hey y Barsanti-Innes, 2016).

El concepto de responsabilidad distributiva en investigación biológica implica distribuir las cargas y beneficios de la ciencia acuícola de manera equitativa entre todas las partes afectadas. Esta distribución considera no solo a los investigadores y productores acuícolas, sino también a las comunidades locales, las generaciones futuras, los ecosistemas acuáticos y los propios organismos cultivados. El principio de justicia distributiva exige que los riesgos ambientales y los costes sociales de la biología intensiva no recaigan desproporcionadamente sobre grupos vulnerables o ecosistemas frágiles, mientras que los beneficios económicos se concentran en actores poderosos. El biólogo debe intervenir activamente en los procesos de toma de decisión política para asegurar distribuciones justas de los impactos de la investigación biológica (Lam, 2016).

La responsabilidad prospectiva orienta la mirada ética del biólogo hacia las consecuencias futuras de sus investigaciones, considerando los efectos a largo plazo sobre la salud de los ecosistemas y la viabilidad de las comunidades pesqueras. Esta temporalidad extendida de la responsabilidad científica desafía la lógica cortoplacista que domina muchas decisiones en biología comercial, orientadas hacia maximizar beneficios inmediatos sin considerar la sostenibilidad ecológica. El biólogo éticamente comprometido debe actuar como guardián del futuro, anticipando escenarios de degradación ambiental o colapso poblacional que sus prácticas actuales podrían desencadenar. Esta responsabilidad futura implica restricciones presentes sobre ciertas investigaciones o tecnologías cuyos riesgos potenciales superan sus beneficios esperados, aun cuando tales riesgos permanezcan inciertos (Varypaiev et al., 2025).

Ejemplo práctico 1: Un equipo de biólogos marinos desarrolla una nueva línea de salmones transgénicos de crecimiento acelerado mediante tecnología CRISPR-Cas9. Ante la presión comercial para comercializar rápidamente estos organismos, el equipo decide aplicar criterios de responsabilidad epistémica y social: realizan evaluaciones de riesgo ecológico exhaustivas durante cinco años,

estudiando la posible hibridación con poblaciones silvestres, la resistencia a enfermedades y los efectos sobre la biodiversidad. Durante este proceso, mantienen diálogos transparentes con comunidades pesqueras locales, autoridades regulatorias y grupos de consumidores, presentando honestamente las incertidumbres científicas y participando en foros públicos de deliberación sobre la aceptabilidad ética de la tecnología. Esta actitud demuestra la transición de una ciencia neutral hacia una práctica de responsabilidad distributiva y prospectiva (Harfouche et al., 2021).

Ejemplo práctico 2: Un laboratorio de investigación en fisiología de peces tropicales descubre inadvertidamente que sus protocolos estándar de marcaje causa niveles significativos de estrés crónico en los individuos estudiados, manifestado en alteraciones del comportamiento alimentario y reducción de la capacidad inmunológica. Ante esta evidencia, el director del laboratorio decide revisar completamente los procedimientos experimentales, invirtiendo recursos adicionales en desarrollar técnicas de muestreo no invasivas y mejorar las condiciones de mantenimiento en cautiverio. A pesar de que estas modificaciones aumentan los costos operativos y reducen temporalmente la productividad del laboratorio, la decisión prioriza el bienestar animal y la integridad ética de la investigación sobre la eficiencia instrumental. Este caso ilustra cómo la responsabilidad del conocimiento implica reconsiderar prácticas establecidas a la luz de nueva evidencia sobre el sufrimiento de los organismos estudiados (Toni et al., 2019).

9.2. Ética deontológica, utilitarista y ética de la virtud aplicadas a la investigación biológica

La ética deontológica, fundamentada en la obra de Immanuel Kant, establece que la moralidad de una acción se determina por su conformidad con deberes y principios universales, independientemente de las consecuencias que produzca. En el contexto de la investigación biológica acuícola, este enfoque ético exige que el científico cumpla con obligaciones incondicionales hacia los organismos acuáticos, el ambiente y la sociedad, reconociendo la dignidad inherente de todos los seres afectados por sus prácticas. El biólogo deontológico considera que ciertas

acciones son intrínsecamente correctas o incorrectas, sin importar los resultados beneficiosos que podrían derivarse de transgredir principios morales fundamentales. Esta perspectiva proporciona protección absoluta contra instrumentalizaciones indebidas de la vida acuática, estableciendo límites éticos infranqueables a la manipulación biológica (Mandal et al., 2016).

La aplicación de la ética kantiana a la investigación con organismos acuáticos implica reconocer que estos seres poseen un valor intrínseco que no debe reducirse a su utilidad instrumental para los fines humanos. El biólogo deontológico se compromete a tratar a los peces e invertebrados acuáticos como fines en sí mismos, nunca meramente como medios para alcanzar objetivos científicos o productivos. Esta actitud prohíbe prácticas que causen sufrimiento innecesario, degradación ambiental o manipulación genética que atente contra la integridad biológica de las especies, aun cuando tales prácticas prometan beneficios sustanciales para la alimentación humana o el conocimiento científico. El respeto por la autonomía natural de los organismos acuáticos y la fidelidad a los deberes profesionales constituyen imperativos categóricos que guían la conducta del investigador (Tseng y Wang, 2021).

El enfoque utilitarista, desarrollado por Jeremy Bentham y John Stuart Mill, evalúa la moralidad de las acciones biológicas según su capacidad para maximizar el bienestar general y minimizar el sufrimiento agregado de todos los seres afectados. Desde esta perspectiva, el biólogo debe calcular cuidadosamente las consecuencias netas de sus investigaciones sobre el conjunto de organismos acuáticos, ecosistemas y comunidades humanas involucradas. La ética utilitarista permite justificar ciertas prácticas que produzcan disconfort en animales de experimentación siempre que generen beneficios significativos superiores a los costes en términos de bienestar general. Este enfoque resulta particularmente útil para la toma de decisiones en biología intensiva, donde múltiples intereses entran en competición y deben ponderarse sistemáticamente (Playford et al., 2015).

La aplicación utilitarista rigurosa en biología acuícola exige la realización de análisis costo-beneficio morales que incluyan no solo

variables económicas, sino también consideraciones de bienestar animal, integridad ecológica y justicia social. El biólogo debe evaluar si la producción acuícola a gran escala, con todas sus implicaciones de confinamiento, manipulación genética y riesgo ambiental, produce realmente el mayor bienestar posible para el mayor número de seres afectados. Este cálculo ético debe considerar las vidas de los organismos cultivados, la salud de los ecosistemas acuáticos, la seguridad alimentaria de poblaciones humanas y la sostenibilidad económica de comunidades pesqueras. El utilitarismo exige la imparcialidad en la consideración de intereses, otorgando peso igual al sufrimiento de un pez de cultivo que al de un humano consumidor (Morrell y Dahlmann, 2023).

La ética de la virtud, con raíces aristotélicas, desplaza el foco moral desde las reglas abstractas o los cálculos consecuencialistas hacia el carácter y las disposiciones del agente científico. Desde esta perspectiva, la calidad ética de la investigación biológica depende fundamentalmente de las virtudes cultivadas por el biólogo : su sabiduría práctica, su compasión hacia los organismos vivos, su justicia en la distribución de beneficios y su templanza frente a las presiones comerciales. El profesional virtuoso desarrolla hábitos caracterológicos que le permiten percibir situaciones éticas con sensibilidad aguda, deliberar con prudencia y actuar de manera acorde con los fines nobles de la actividad científica. Esta aproximación ética enfatiza la formación moral integral del investigador más allá del mero cumplimiento normativo (Sganzerla et al., 2022).

La síntesis de los tres enfoques éticos proporciona un marco comprehensivo para la toma de decisiones en investigación biológica acuícola. La ética deontológica establece los límites absolutos que no deben transgredirse, protegiendo la dignidad de los organismos acuáticos y la integridad de los ecosistemas contra instrumentalizaciones indebidas. El utilitarismo aporta herramientas para la ponderación de intereses conflictivos y la optimización de resultados beneficiosos cuando múltiples valores entran en tensión. La ética de la virtud garantiza que el investigador posea las disposiciones internas necesarias para aplicar correctamente las reglas deontológicas y realizar los cálculos

utilitarios con sensibilidad moral apropiada. La integración dialéctica de estas perspectivas permite al biólogo navegar complejidades éticas que ningún enfoque individual podría resolver adecuadamente (Jamil, 2017).

En la práctica experimental con organismos acuáticos, la articulación de estos marcos éticos se manifiesta en decisiones concretas sobre diseño metodológico, cuidado animal y difusión de resultados. El biólogo debe preguntarse no solo si sus protocolos cumplen con regulaciones formales, sino si reflejan respeto genuino por la vida acuática, si producen el mayor bienestar posible para todos los afectados y si proceden de un carácter científico comprometido con la excelencia moral. Esta triangulación ética evita tanto el rigorismo legalista de una deontología inflexible, como el calculismo frío de un utilitarismo insensible, y la subjetividad descontrolada de un enfoque virtuoso malentendido. La investigación biológica acuícola éticamente madura requiere la complementariedad armónica de estos tres horizontes morales (Baumane-Vitolina et al., 2016).

La educación ética del biólogo debe incluir la formación explícita en estos tres marcos filosóficos, permitiendo al profesional movilizar conceptualmente cada aproximación según las demandas situacionales específicas. No todas las decisiones éticas en biología son susceptibles de resolución mediante un único enfoque; algunas situaciones requieren el establecimiento de límites absolutos, otras la ponderación cuidadosa de consecuencias, y otras el despliegue de virtudes personales. El biólogo debe desarrollar la capacidad filosófica de discernir qué tipo de consideración ética predomina en cada contexto deliberativo, evitando tanto la aplicación mecánica de principios como la improvisación moral desprovista de fundamentación teórica (Chukwuneke y Ezenwugo, 2022).

Ejemplo práctico 1: Un biólogo enfrenta la decisión sobre implementar un programa de triploidización en truchas arcoíris que produce esterilidad, pero permite crecimiento acelerado. Desde la ética deontológica, verifica que la técnica no causa sufrimiento crónico y preserva la integridad fisiológica básica de los organismos. Desde el utilitarismo, calcula que el programa reducirá

la mortalidad por enfermedades reproductivas y disminuirá la presión sobre poblaciones silvestres por escapes, maximizando el bienestar agregado. Desde la ética de la virtud, reflexiona sobre su propia prudencia ecológica y su compromiso con prácticas verdaderamente sostenibles. La decisión integrada contempla todos estos aspectos, resultando en un programa de mejora genética que respeta los deberes fundamentales, optimiza las consecuencias y refleja el carácter virtuoso del profesional (Huanacuni et al., 2026).

Ejemplo práctico 2: Durante un experimento de toxicología acuática, un investigador observa que los peces expuestos a concentraciones subletales de un contaminante muestran comportamientos anormales indicativos de sufrimiento psicológico, aunque los parámetros fisiológicos tradicionales permanecen dentro de rangos normales. La ética deontológica exige que el investigador detenga inmediatamente las exposiciones que causan sufrimiento innecesario, independientemente de la validez científica de los datos obtenidos. El utilitarismo le obliga a evaluar si el conocimiento generado sobre este contaminante justifica el sufrimiento causado, considerando los beneficios potenciales para la protección de ecosistemas acuáticos. La ética de la virtud lo impulsa a demostrar compasión hacia los organismos bajo su cuidado y coraje científico para reportar hallazgos inesperados que podrían cuestionar paradigmas establecidos. La decisión final integra la suspensión del experimento, la búsqueda de métodos alternativos menos dañinos y la publicación transparente de los efectos conductuales observados, demostrando la aplicación práctica de los tres enfoques éticos (Franks et al., 2021).

9.3. Principios de la ética profesional del biólogo en contextos acuícolas

El principio de integridad científica constituye el fundamento epistémico de la ética profesional del biólogo , exigiendo la honestidad intelectual en todas las fases del proceso de investigación. Esta integridad se manifiesta en la fabricación honesta de datos, el análisis imparcial de resultados, la atribución correcta de autoría y la revelación transparente de conflictos de

interés potenciales. El biólogo debe comprometerse con la búsqueda de la verdad sobre los sistemas biológicos acuáticos, resistiendo presiones para manipular evidencias, omitir hallazgos inconvenientes o exagerar la eficacia de tecnologías acuícolas con fines comerciales. La integridad científica garantiza la confiabilidad del conocimiento biológico y mantiene la legitimidad social de la profesión ante la sociedad que depende de sus aportes para la gestión sostenible de recursos acuáticos (Ciliberti et al., 2024).

El principio de competencia profesional exige que el biólogo mantenga niveles actualizados de conocimiento técnico y habilidades prácticas acordes con los estándares disciplinares contemporáneos. Esta competencia abarca no solo el dominio de técnicas biológicas específicas, sino también la comprensión de contextos ecológicos, sociales y éticos relevantes para la práctica acuícola. El profesional debe reconocer los límites de su propia experiencia, buscando colaboración interdisciplinaria cuando enfrente problemas que excedan su formación específica. La incompetencia en biología acuícola produce consecuencias graves: mortalidad masiva de organismos cultivados, degradación de ecosistemas acuáticos, pérdidas económicas para productores y riesgos para la salud pública por productos contaminados. El compromiso con el aprendizaje continuo y la actualización profesional constituye una obligación ética imperativa (Bovenkerk y Meijboom, 2020).

El principio de respeto al bienestar animal orienta la conducta del biólogo hacia el reconocimiento de la sensibilidad de los organismos acuáticos y la minimización intencional de su sufrimiento. Este respeto trasciende el cumplimiento mínimo de regulaciones formales, configurándose como una actitud disposicional que informa el diseño experimental, las técnicas de manejo y las decisiones de sacrificio. El biólogo éticamente comprometido implementa el principio de las tres erres: reemplazo de métodos invasivos por alternativas no animales cuando sea posible, reducción del número de organismos utilizados al mínimo estadísticamente necesario, y refinamiento de procedimientos para minimizar dolor, estrés y sufrimiento. Este principio reconoce que los peces e invertebrados acuáticos, como seres sentientes capaces

de experiencias subjetivas, merecen consideración moral directa en la práctica profesional (Sloman et al., 2019).

El principio de sostenibilidad ecológica impone al biólogo la responsabilidad de preservar la integridad y resiliencia de los ecosistemas acuáticos intervenidos por la biología. Esta obligación ética requiere la evaluación preventiva de impactos ambientales, la implementación de medidas de mitigación de daños y la restauración de hábitats degradados cuando sea necesario. El profesional debe privilegiar sistemas de producción acuícola que operen dentro de los límites de capacidad de carga de los ecosistemas, minimicen la polución por nutrientes y químicos, y prevengan la introducción de especies exóticas invasoras. La sostenibilidad ecológica implica una visión intergeneracional que considera las necesidades de las generaciones futuras de acceder a recursos acuáticos saludables y biodiversos, restringiendo prácticas presentes que comprometan esa posibilidad (Lam, 2016).

El principio de justicia distributiva exige la distribución equitativa de los beneficios y cargas generados por la investigación y producción acuícola entre todos los grupos afectados. Esta justicia requiere atención particular hacia las comunidades locales tradicionalmente dependientes de recursos pesqueros, cuyos medios de vida pueden verse afectados por la expansión de la biología industrial. El biólogo debe evitar complicidad en procesos de acaparamiento de tierras, desplazamiento forzado de poblaciones ribereñas o apropiación indebida de conocimientos tradicionales sobre especies acuáticas. La justicia distributiva abarca también la equidad de género, reconociendo y valorando la contribución de mujeres en actividades acuícolas tradicionales y asegurando su participación en los beneficios de la modernización del sector (Huanacuni et al., 2026).

El principio de transparencia comunicativa obliga al biólogo a difundir sus hallazgos de manera clara, honesta y accesible para diversos públicos, incluyendo comunidades locales, tomadores de decisiones políticas y consumidores. Esta transparencia implica la revelación proactiva de riesgos ambientales, limitaciones metodológicas y conflictos de interés financieros relacionados con

financiamiento de la investigación. El profesional debe resistir tendencias a la oscuridad técnica o al lenguaje especializado que excluya a los actores sociales de la deliberación pública sobre asuntos acuícolas. La democratización del conocimiento biológico constituye un imperativo ético en sociedades que aspiran a la autodeterminación colectiva sobre sus sistemas alimentarios y ambientales (Farina y Lavazza, 2024).

El principio de precaución epistémica guía al biólogo frente a la incertidumbre inevitable que caracteriza los sistemas biológicos complejos y las intervenciones tecnológicas novedosas. Ante la ausencia de certeza científica completa sobre las consecuencias de prácticas acuícolas innovadoras, el profesional debe inclinarse hacia la conservación de la integridad ecológica y el bienestar animal, colocando la carga de la prueba sobre quienes proponen la intervención. Este principio prohíbe invocar la ignorancia científica como justificación para postergar medidas preventivas costosas o inconvenientes. La precaución epistémica exige humildad intelectual frente a los límites del conocimiento biológico y reconocimiento de la complejidad inherente a los sistemas acuáticos (Pretorius, 2024).

El principio de colaboración interdisciplinaria reconoce que los desafíos éticos en biología trascienden las competencias exclusivas de la biología, requiriendo el aporte de la ecología, la veterinaria, la economía, la sociología y la filosofía. El biólogo debe cultivar disposiciones de apertura intelectual, disposición para aprender de otros campos y humildad frente a la expertice complementaria. Esta colaboración evita la reducción técnica de problemas éticamente complejos a variables biológicas simples, permitiendo aproximaciones holísticas a la sostenibilidad acuícola. El profesional aislado disciplinariamente corre riesgos de ceguera ética ante dimensiones sociales, económicas o culturales cruciales de la práctica acuícola (Gupta et al., 2022).

El principio de responsabilidad social amplía la ética profesional del biólogo hacia el compromiso activo con la justicia alimentaria, la seguridad nutricional de poblaciones vulnerables y la soberanía de los pueblos sobre sus recursos acuáticos. Este principio exige

que el conocimiento biológico sirva preferencialmente a las necesidades de los excluidos y marginados del sistema alimentario global, evitando que la investigación acuícola se subordine únicamente a la acumulación de capital corporativo. El biólogo debe utilizar su posición epistémica privilegiada para amplificar voces de comunidades afectadas por la biología industrial y para denunciar prácticas extractivistas que dañen ecosistemas y sociedades locales. Esta responsabilidad social transforma la ética profesional en un compromiso político explícito con la justicia ambiental (Christians, 2016).

Ejemplo práctico 1: Un biólogo contratado por una multinacional acuícola descubre que los piensos formulados por la empresa contienen niveles de contaminantes que acumulan metales pesados en tejidos de peces, potencialmente peligrosos para consumidores humanos. Aplicando el principio de integridad científica, el profesional documenta cuidadosamente estos hallazgos sin alterar datos bajo presión corporativa. Siguiendo el principio de transparencia, reporta sus descubrimientos a autoridades regulatorias nacionales y presenta los resultados en una conferencia científica internacional, a pesar de la cláusula de confidencialidad del contrato. La decisión prioriza la salud pública y la honestidad epistémica sobre la lealtad contractual a intereses privados, demostrando la aplicación concreta de principios éticos profesionales en situaciones de conflicto de intereses (Tseng y Wang, 2021).

Ejemplo práctico 2: Un equipo de biólogos es trabaja en el diseño de un sistema de cultivo de camarones en una región costera habitada por comunidades pesqueras tradicionales. Aplicando el principio de justicia distributiva, el equipo realiza consultas extensivas con los pescadores locales para comprender sus patrones de uso del manglar y las áreas de pesca tradicional. Deciden modificar el diseño original del proyecto para evitar la destrucción de zonas de crianza natural de especies que sustentan la economía artesanal local, aunque esto incremente los costos de producción. Implementan mecanismos de compensación económica para familias afectadas por la reducción del área de operación y establecen programas de capacitación que permiten la

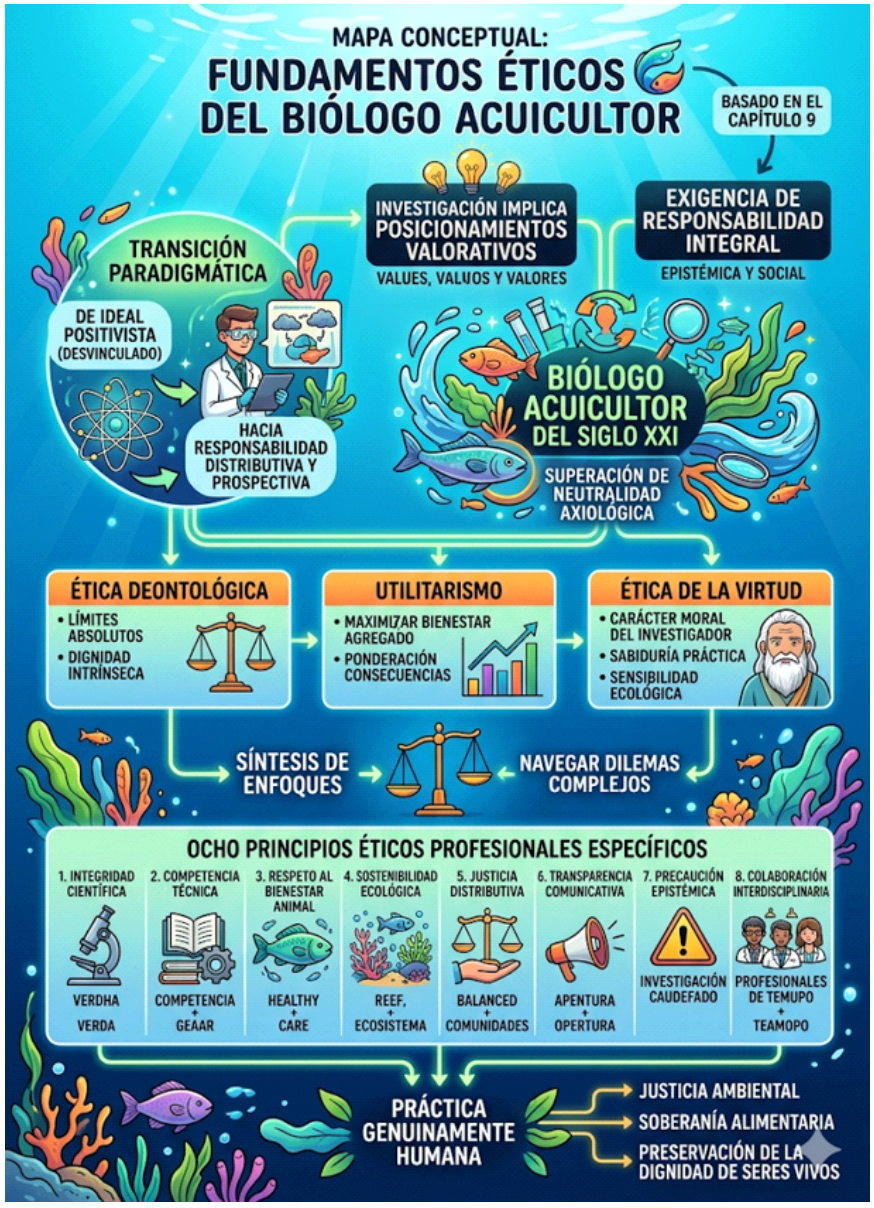
participación local en el nuevo sistema productivo. Esta práctica ilustra la integración de principios de sostenibilidad ecológica, justicia distributiva y colaboración interdisciplinaria con antropólogos y economistas sociales (Jamil, 2017).

Resumen

El capítulo 9 establece los fundamentos éticos esenciales para el biólogo del siglo XXI, superando la concepción obsoleta de neutralidad axiológica científica. El texto argumenta que la investigación biológica en biología implica inevitablemente posicionamientos valorativos, exigiendo una responsabilidad epistémica y social integral por parte del profesional. Se analiza la transición desde el ideal positivista de ciencia desvinculada de valores hacia un paradigma de responsabilidad distributiva y prospectiva, donde el científico asume las consecuencias éticas de sus intervenciones sobre ecosistemas acuáticos, organismos sentientes y comunidades humanas.

El desarrollo examina tres marcos filosóficos aplicables: la ética deontológica, que establece límites absolutos basados en el respeto a la dignidad intrínseca de los seres vivos; el utilitarismo, que pondera consecuencias para maximizar el bienestar agregado; y la ética de la virtud, que enfoca el carácter moral del investigador mediante el desarrollo de sabiduría práctica y sensibilidad ecológica. La síntesis de estos enfoques permite navegar dilemas complejos donde intereses económicos, ecológicos y de bienestar animal entran en tensión.

Se proponen ocho principios éticos profesionales específicos: integridad científica, competencia técnica, respeto al bienestar animal, sostenibilidad ecológica, justicia distributiva, transparencia comunicativa, precaución epistémica y colaboración interdisciplinaria. Estos principios configuran una deontología profesional que transforma la biología acuícola en una práctica genuinamente humana, orientada hacia la justicia ambiental, la soberanía alimentaria y la preservación de la dignidad de todos los seres vivos involucrados en los sistemas acuícolas.


MAPA CONCEPTUAL:
FUNDAMENTOS ÉTICOS DEL BIÓLOGO ACUICULTOR
BASADO EN EL CAPÍTULO 9
INVESTIGACIÓN IMPLICA POSICIONAMIENTOS VALORATIVOS
VALUES, VALUOS Y VALORES
EXIGENCIA DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL
EPISTÉMICA Y SOCIAL
TRANSICIÓN PARADIGMÁTICA
DE IDEAL POSITIVISTA (DESVINCULADO)
HACIA RESPONSABILIDAD DISTRIBUTIVA Y PROSPECTIVA
BIÓLOGO ACUICULTOR DEL SIGLO XXI
SUPERACIÓN DE NEUTRALIDAD AXIOLÓGICA
ÉTICA DEONTOLÓGICA
• LÍMITES ABSOLUTOS
• DIGNIDAD INTRÍNSECA
UTILITARISMO
• MAXIMIZAR BIENESTAR AGREGADO
• PONDERACIÓN CONSECUENCIAS
ÉTICA DE LA VIRTUD
• CARÁCTER MORAL DEL INVESTIGADOR
• SABIDURÍA PRÁCTICA
• SENSIBILIDAD ECOLÓGICA
SÍNTESIS DE ENFOQUES
NAVEGAR DILEMAS COMPLEJOS
OCHO PRINCIPIOS ÉTICOS PROFESIONALES ESPECÍFICOS
1. INTEGRIDAD CIENTÍFICA
VERDHA + VERDA
2. COMPETENCIA TÉCNICA
COMPETENCIA + GEAAR
3. RESPETO AL BIENESTAR ANIMAL
HEALTHY + CARE
4. SOSTENIBILIDAD ECOLÓGICA
REEF, + ECOSISTEMA
5. JUSTICIA DISTRIBUTIVA
BALANCED + COMUNIDADES
6. TRANSPARENCIA COMUNICATIVA
APENTURA + OPERTURA
7. PRECAUCIÓN EPISTÉMICA
INVESTIGACIÓN CAUDEFADO
8. COLABORACIÓN INTERDISCIPLINARIA
PROFESIONALES DE TEMUPO + TEAMOPO
PRÁCTICA GENUINAMENTE HUMANA
JUSTICIA AMBIENTAL
SOBERANÍA ALIMENTARIA
PRESERVACIÓN DE LA DIGNIDAD DE SERES VIVOS

Referencias Bibliográficas

Baumane-Vitolina, I., Cals, I., & Sumilo, E. (2016). Is ethics rational? Teleological, deontological and virtue ethics theories reconciled in the context of traditional economic decision making. Procedia Economics and Finance, 39, 108-114. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30249-0

Bovenkerk, B., & Meijboom, F. L. B. (2020). The welfare of fish. En B. Bovenkerk & F. L. B. Meijboom (Eds.), The Welfare of Fish (pp. 1-20). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41675-1_2

Browman, H. I., Cooke, S. J., Cowx, I. G., et al. (2019). Welfare of aquatic animals: Where things are, where they are going, and what it means for research, aquaculture, recreational angling, and commercial fishing. ICES Journal of Marine Science, 76(1), 82-92. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy067

Chukwuneke, F. N., & Ezenwugo, A. C. (2022). Deontology vs. utilitarianism: Understanding the basis for the moral theories in medicine. International Journal of Medicine and Health Development, 27(1), 81-89. https://doi.org/10.4103/IJMND.IJMND_20_22

Christians, C. G. (2016). Neutral science and the ethics of resistance. En N. K. Denzin & M. D. Giardina (Eds.), Qualitative Inquiry—Past, Present, and Future: A Critical Reader (pp. 51-68). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315421254-4

Ciliberti, R., Alfano, L., & Petralia, P. (2024). Ethics in aquaculture: Animal welfare and environmental sustainability. Journal of Preventive Medicine and Hygiene, 65(1), E1-E8. https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2024.65.1.2853

Farina, M., & Lavazza, A. (2024). Philosophy, expertise, and the myth of neutrality. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003374480

Franks, B., Ewell, C., & Jacquet, J. (2021). Animal welfare risks of global aquaculture. Science Advances, 7(45), eabg0677. https://doi.org/10.1126/sciadv.abg0677

Gupta, A., Philip, T. M., Turpen, C., et al. (2022). Assumptions matter! Epistemological, ideological, and axiological aspects of assumptions that undergird collective reasoning about science, technology, and society. En The Learning Sciences in Conversation: Theories, Methodologies, and Boundary Settings (pp. 243-260). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003089728-20

Harfouche, A. L., Petousi, V., Meilan, R., et al. (2021). Promoting ethically responsible use of agricultural biotechnology. Trends in Plant Science, 26(4), 392-406. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.09.007

Hey, S. P., & Barsanti-Innes, B. (2016). Epistemology, ethics, and progress in precision medicine. Perspectives in Biology and Medicine, 59(2), 198-216. https://doi.org/10.1353/pbm.2016.0023

Hofmann, B. (2023). Making and managing new biological entities: Conceptual, ontological, epistemological, and ethical aspects. Perspectives in Biology and Medicine, 66(1), 1-19. https://doi.org/10.1353/pbm.2023.0003

Huanacuni, J. I., Pepe-Victoriano, R., et al. (2026). The role of the biologist in sustainable aquaculture: Review of contributions, technologies and emerging challenges. Sustainability, 18(3), 1165. https://doi.org/10.3390/su18031165

Jamil, A. (2017). Moral philosophies and ideologies relevant for life sciences research and their regulation. Dhaka University Studies Part F, 28(1), 1-15. https://heinonline.org/hol-cgi-bin/get_pdf.cgi?handle=hein.journals/dkauvylw28&section=7

Lam, M. E. (2016). The ethics and sustainability of capture fisheries and aquaculture. Journal of Agricultural and Environmental

Ethics, 29(1), 35-65. https://doi.org/10.1007/s10806-015-9587-2

Mandal, J., Ponnambath, D. K., & Parija, S. C. (2016). Utilitarian and deontological ethics in medicine. Tropical Parasitology, 6(1), 5-7. https://doi.org/10.4103/2229-5070.175024

Morrell, K., & Dahlmann, F. (2023). Aristotle in the Anthropocene: The comparative benefits of Aristotelian virtue ethics over Utilitarianism and deontology. The Anthropocene Review, 10(2), 20530196221105093. https://doi.org/10.1177/20530196221105093

Playford, R. C., Roberts, T., & Playford, E. D. (2015). Deontological and utilitarian ethics: A brief introduction in the context of disorders of consciousness. Disability and Rehabilitation, 37(21), 2006-2011. https://doi.org/10.3109/09638288.2014.989337

Pretorius, L. (2024). Demystifying research paradigms: Navigating ontology, epistemology, and axiology in research. The Qualitative Report, 29(6), 1682-1701. https://doi.org/10.46743/2160-3715/2024.6418

Rykova, L. K. (2018). Axiological context of ideas about value-neutral science. Astra Salvensis–Revista de Istorie si Cultura, 6(11), 167-176. https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=687092

Sganzerla, A., Siqueira, J. E., & Guérios, T. R. (2022). Ethics of virtue applied to medical deontology. Revista Bioética, 30(1), 108-116. https://doi.org/10.1590/1983-8042.2022.30108

Sloman, K. A., Bouyoucos, I. A., Brooks, E. J., & Sneddon, L. U. (2019). Ethical considerations in fish research. Journal of Fish Biology, 94(4), 556-577. https://doi.org/10.1111/jfb.13946

Toni, M., Manciocco, A., Angiulli, E., Alleva, E., & Cioni, C. (2019). Assessing fish welfare in research and aquaculture, with a focus on European directives. Animal, 13(1), 161-170. https://doi.org/10.1017/S1751731118002050

Tseng, P. E., & Wang, Y. H. (2021). Deontological or utilitarian? An eternal ethical dilemma in outbreak. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(16), 8565. https://doi.org/10.3390/ijerph18168565

Varypaiev, O., Serohina, H., Serediuk, N., et al. (2025). Ethical challenges in biotechnology: Exploring the boundaries of scientific intervention. PhilArchive. https://philarchive.org/rec/VARECI

Ciliberti, R., Alfano, L., y Petralia, P. (2024). Ethics in aquaculture: Animal welfare and environmental sustainability. Journal of Preventive Medicine and Hygiene, 64(4), E443–E447. https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2023.64.4.3136

Di Paola, M. (2024). Virtue, environmental ethics, nonhuman values, and anthropocentrism. Philosophies, 9(1), 15. https://doi.org/10.3390/philosophies9010015

Kittinger, J. N., Teh, L. C., Allison, E. H., Bennett, N. J., Crowder, L. B., Finkbeiner, E. M., Hicks, C. C., Scarton, C. G., Nakamura, K., y Ota, Y. (2017). Committing to socially responsible seafood. Science, 356(6341), 912–913. https://doi.org/10.1126/science.aam6609

Mancilla García, M., Hertz, T., y Schlüter, M. (2020). Towards a process epistemology for the analysis of social-ecological systems. Environmental Values, 29(2), 221–239. https://doi.org/10.3197/096327119X15579936382608

Capítulo 10
Bioética en la biología: bienestar animal y experimentación científica

Bioética en la biología: bienestar animal y experimentación científica

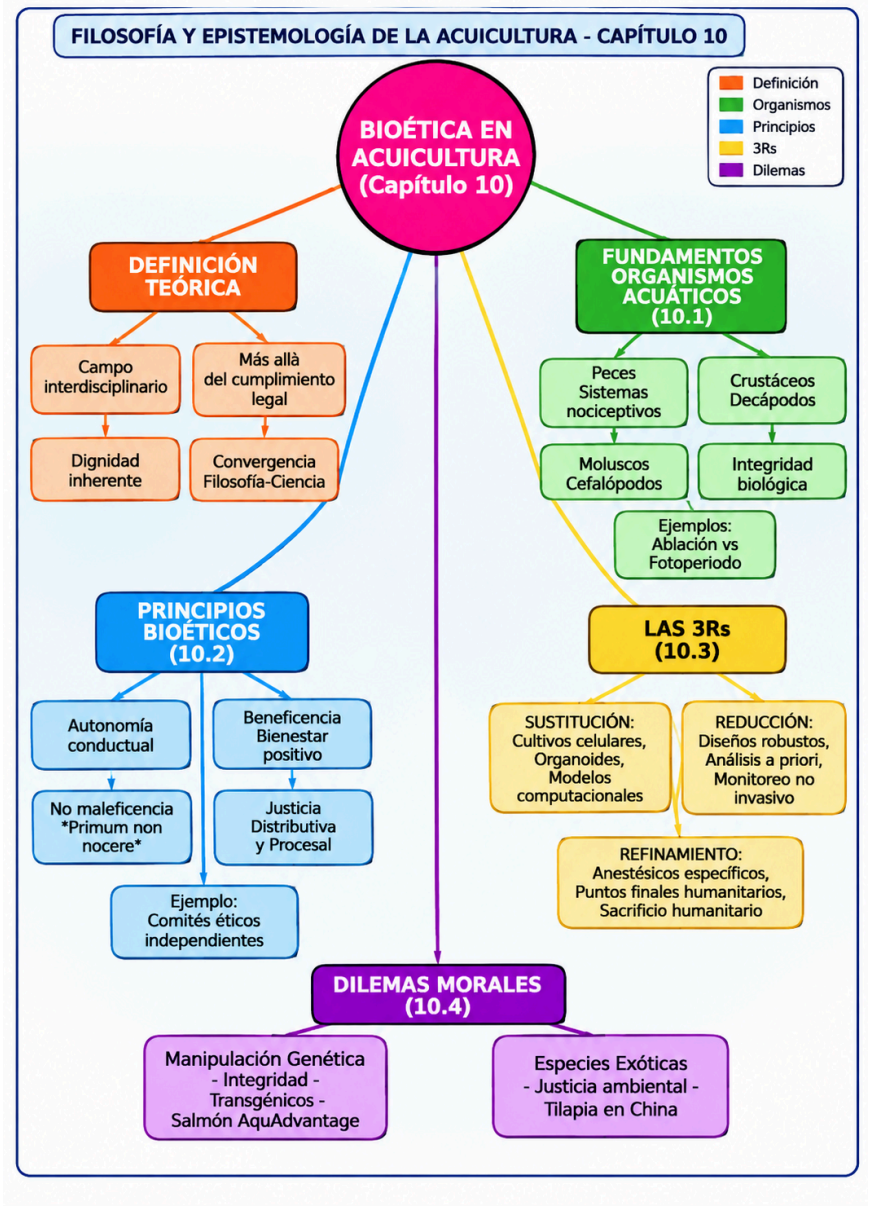
La bioética en biología constituye un campo interdisciplinario que examina sistemáticamente las implicaciones morales derivadas de la producción, manipulación e investigación con organismos acuáticos. Este dominio epistemológico trasciende la mera aplicación de normativas legales, proponiendo un análisis crítico sobre la dignidad inherente de peces, crustáceos y moluscos en contextos de confinamiento artificial. La disciplina integra conocimientos de filosofía moral, etología acuática y epistemología de las ciencias biológicas para fundamentar prácticas responsables. El reconocimiento científico contemporáneo de la sensibilidad de estos organismos demanda una reconsideración profunda de los paradigmas tradicionales de explotación acuícola (Meijboom & Bovenkerk, 2025).

El desarrollo de la bioética aplicada a sistemas acuáticos surge como respuesta a la intensificación industrial de la biología global durante las últimas décadas. Esta expansión tecnológica ha generado interrogantes fundamentales respecto al estatus moral de vertebrados e invertebrados acuáticos tradicionalmente excluidos de marcos éticos protectores. La evidencia científica reciente sobre capacidades cognitivas y emocionales de peces y cefalópodos desafía presunciones antropocéntricas previas. Consecuentemente, la bioética acuícola se configura como un instrumento necesario para mediar entre imperativos económicos, avances científicos y consideraciones deontológicas (Albalat et al., 2022).

La epistemología de la bioética en biología exige una distinción rigurosa entre ética aplicada y mera conformidad regulatoria. Mientras la segunda se limita al cumplimiento de estándares mínimos establecidos por autoridades competentes, la primera implica una deliberación continua sobre los fines últimos de la intervención humana en sistemas acuáticos. Este enfoque crítico requiere examinar los supuestos axiológicos subyacentes a las prácticas de cultivo, experimentación y sacrificio de organismos acuáticos. La reflexión bioética, en consecuencia, se orienta hacia la construcción de marcos

normativos fundados en el reconocimiento de la agencia y el valor intrínseco de los animales acuáticos (Birch et al., 2021).

La consolidación de esta área del conocimiento implica necesariamente la incorporación de perspectivas interculturales sobre la relación humano-animal-acuario. Diferentes tradiciones filosóficas y cosmovisiones ofrecen fundamentaciones variadas respecto al trato moral debido a los organismos acuáticos, desde el budismo hasta las éticas ambientales occidentales. La bioética acuícola contemporánea debe articular estos diversos marcos conceptuales sin caer en relativismos epistémicos que diluyan la protección de los animales. Esta síntesis exige un diálogo permanente entre biólogos, filósofos, veterinarios y productores acuícolas para establecer consensos fundamentados racionalmente (Beauchamp & Childress, 2001; Lam & Pitcher, 2016).


FILOSOFÍA Y EPISTEMOLOGÍA DE LA ACUICULTURA - CAPÍTULO 10
Definición
Organismos
Principios
3Rs
Dilemas
BIOÉTICA EN ACUICULTURA (Capítulo 10)
DEFINICIÓN TEÓRICA
Campo interdisciplinario
Más allà del cumplimiento legal
Dignidad inherente
Convergencia Filosofía-Ciencia
FUNDAMENTOS ORGANISMOS ACUÁTICOS (10.1)
Peces Sistemas nociceptivos
Crustáceos Decápodos
Moluscos Cefalópodos
Integridad biológica
Ejemplos: Ablación vs Fotoperiodo
PRINCIPIOS BIOÉTICOS (10.2)
Autonomía conductual
Beneficencia Bienestar positivo
No maleficencia *Primum non nocere*
Justicia Distributiva y Procesal
Ejemplo: Comités éticos independientes
LAS 3Rs (10.3)
SUSTITUCIÓN: Cultivos celulares, Organoides, Modelos computacionales
REDUCCIÓN: Diseños robustos, Análisis a priori, Monitoreo no invasivo
REFINAMIENTO: Anestésicos específicos, Puntos finales humanitarios, Sacrificio humanitario
DILEMAS MORALES (10.4)
Manipulación Genética - Integridad - Transgénicos - Salmón AquAdvantage
Especies Exóticas - Justicia ambiental - Tilapia en China

10.1. Fundamentos de la bioética en organismos acuáticos (peces, crustáceos, moluscos)

El reconocimiento de la sensibilidad en organismos acuáticos constituye el pilar fundamental sobre el cual se edifica toda consideración bioética contemporánea en biología. Estudios neurobiológicos y conductuales recientes han demostrado que peces teleósteos poseen sistemas nociceptivos complejos, respuestas conductuales a estímulos dolorosos y capacidades de memoria asociativa que sustentan su estatus de seres sintientes. Esta evidencia científica obliga a revisar las prácticas tradicionales de manejo que asumían la ausencia de experiencia subjetiva en estos organismos. La implicación ética directa supone el deber de minimizar el dolor y el estrés durante todas las etapas del ciclo de producción acuícola (Sneddon et al., 2023).

Los crustáceos decápodos, incluyendo langostas, cangrejos y camarones, han sido objeto de revisión científica reciente respecto a sus capacidades de experiencia consciente. Investigaciones sobre neuroanatomía, fisiología del estrés y comportamiento de evitación sugieren firmemente que estos invertebrados poseen los requisitos biológicos necesarios para la sensibilidad. El reconocimiento legal de esta condición en jurisdicciones como el Reino Unido y Nueva Zelanda ha generado obligaciones éticas específicas respecto a su manejo, transporte y sacrificio. La industria acuícola debe adaptar sus protocolos operativos para garantizar el bienestar de estos organismos, tradicionalmente excluidos de consideraciones de protección animal (Crustacean Compassion, 2025).

Los moluscos cefalópodos presentan un caso paradigmático de complejidad cognitiva en invertebrados marinos. Octopus, sepias y calamares exhiben comportamientos de resolución de problemas, plasticidad neuronal y capacidades de aprendizaje que comparan favorablemente con los de vertebrados superiores. Esta sofisticación neurológica fundamenta su inclusión en directivas europeas de protección en investigación científica. La cría intensiva de cefalópodos plantea desafíos éticos particulares relacionados con el enriquecimiento ambiental, la densidad de cultivo y la prevención de comportamientos estereotipados indicativos de sufrimiento (Conte et al., 2021).

La distinción entre bienestar animal y mera productividad biológica representa una tensión dialéctica central en la bioética acuícola. Enfoques tradicionales orientados exclusivamente a parámetros zootécnicos ignoran dimensiones cualitativas de la experiencia animal, tales como la expresión de comportamientos naturales y la experiencia de estados afectivos positivos. La transición hacia modelos de bienestar basados en evidencia requiere el desarrollo de indicadores operacionales específicos para cada especie acuática. Este cambio paradigmático implica reconocer que organismos con necesidades biológicas distintas demandan condiciones de manejo diferenciadas y especializadas (Grunow et al., 2023).

La integridad biológica y ecológica de los organismos acuáticos emerge como un concepto ético relevante en el debate contemporáneo. Este principio trasciende la mera ausencia de sufrimiento, abarcando el respeto por la naturaleza específica (*telos*) de cada especie y su papel en ecosistemas acuáticos. Las intervenciones humanas que alteran significativamente los patrones comportamentales, las preferencias ambientales o las estructuras sociales de los animales comprometen su integridad. La bioética acuícola debe evaluar críticamente aquellas prácticas que, aunque productivamente eficientes, distorsionan la expresión de comportamientos esenciales para la especie (Meijboom & Bovenkerk, 2025).

El concepto de resiliencia en organismos acuáticos requiere análisis ético particular en contextos acuícolas. Si bien la capacidad de recuperación ante estrésores ambientales se promueve frecuentemente como un rasgo deseable desde perspectivas productivistas, su aplicación indiscriminada puede enmascarar deficiencias en el diseño de sistemas de cultivo. Seleccionar genéticamente para la resistencia a altas densidades o condiciones subóptimas sin mejorar el entorno constituye una estrategia éticamente cuestionable. Esta aproximación instrumentaliza a los animales, adaptándolos a circunstancias adversas en lugar de optimizar sus condiciones de vida (Meijboom & Bovenkerk, 2025).

La evidencia científica sobre cognición y emoción en peces obliga a reconsiderar las prácticas de manejo rutinarias en instalaciones acuícolas. Comportamientos de tipo social, capacidades de aprendizaje individual y memoria a largo plazo implican que estos organismos experimentan estados de bienestar o malestar complejos. El diseño de instalaciones debe incorporar enriquecimiento ambiental, oportunidades para la elección de microhábitats y agrupaciones sociales apropiadas. Ignorar estas necesidades cognitivas constituye una forma de privación sicológica que compromete el estatus ético de la producción acuícola (Albalat et al., 2022).

Las interacciones entre bienestar individual y salud poblacional presentan desafíos éticos específicos en el manejo de crustáceos y moluscos. Prácticas como la ablación del pedúnculo ocular en camarones, aunque técnicamente orientadas a mejorar la reproducción en cautiverio, generan consecuencias negativas documentadas para la salud y comportamiento de los animales. El desarrollo de alternativas no invasivas a través de la manipulación ambiental y nutricional representa un avance ético significativo. La industria debe priorizar métodos que respeten la integridad fisiológica de los reproductores sobre procedimientos mutilantes tradicionales (Zacarias et al., 2021).

Ejemplo práctico 1: En instalaciones de cultivo de *Litopenaeus vannamei*, la implementación de sistemas de maduración alternativos que eliminan la ablación ocular mediante control fotoperiódico y ajustes de densidad ha demostrado viabilidad productiva sin comprometer el bienestar de las hembras reproductoras. Este cambio de paradigma ilustra la aplicación concreta de principios bioéticos en la transformación de prácticas industriales estándar (Zacarias et al., 2019).

Ejemplo práctico 2: El uso de sistemas de aturdimiento eléctrico en langostas y cangrejos antes del procesamiento, implementado en instalaciones acuícolas de Nueva Zelanda y Suiza, representa una aplicación directa del reconocimiento de sensibilidad en decápodos. Estos sistemas inducen pérdida de consciencia en menos de un segundo, eliminando sufrimiento comparado con

métodos tradicionales de inmersión en agua hirviendo o hielo (Roth & Øines, 2010; Neil et al., 2022).

10.2. Principios de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia en la experimentación animal acuática

El principio de autonomía, adaptado al contexto de organismos acuáticos en investigación, implica el reconocimiento de la agencia individual y las preferencias específicas de cada especie. Aunque los peces y crustáceos carecen de autonomía en el sentido de agentes morales racionales, poseen capacidades de elección conductual que deben respetarse en diseños experimentales. La selección de procedimientos que permitan la expresión de preferencias naturales, tales como la elección de temperatura, sustrato o compañeros sociales, constituye una aplicación ética de este principio. El investigador adquiere la responsabilidad de proporcionar ambientes que posibiliten ejercicios de agencia significativos para los sujetos experimentales (Beauchamp & Childress, 2001; Lam & Pitcher, 2016).

La beneficencia en experimentación con organismos acuáticos exige la maximización del bienestar positivo más allá de la mera minimización del sufrimiento. Este principio activo obliga a los investigadores a proporcionar condiciones que promuevan estados afectivos positivos, incluyendo oportunidades para comportamientos exploratorios, forrajeo natural e interacciones sociales apropiadas. La implementación de enriquecimiento ambiental en laboratorios de biología marina no constituye un lujo metodológico, sino un requisito ético fundamental. La beneficencia así entendida transforma las instalaciones experimentales en espacios donde los animales pueden prosperar, no simplemente sobrevivir (Beauchamp & Childress, 2001).

El principio de no maleficencia establece la obligación primordial de evitar daño innecesario en organismos acuáticos experimentales. Esta máxima, derivada del *primum non nocere* hipocrático, prohíbe deliberadamente causar dolor, angustia o daño duradero sin justificación científica válida y proporcionada. En la práctica experimental, esto implica el uso obligatorio de

anestesia y analgesia apropiadas para procedimientos invasivos, la minimización del manejo estresante y la implementación de puntos finales humanitarios claros. La presunción debe establecerse en favor de la sensibilidad de los organismos, aplicando métodos de refinamiento continuo (NC3Rs, 2024).

La justicia distributiva en experimentación animal acuática concierne a la asignación equitativa de costes y beneficios entre especies, individuos y grupos de investigación. Este principio exige que la carga del sacrificio experimental no recaiga desproporcionadamente sobre grupos específicos de animales ni que los beneficios se acumulen exclusivamente en comunidades humanas privilegiadas. La selección de especies debe basarse en criterios científicos objetivos, evitando el uso de organismos de mayor complejidad cognitiva cuando alternatives válidas existen. La distribución justa de recursos investigativos implica también la reducción sistemática del número de animales empleados mediante diseños experimentales robustos (Beauchamp & Childress, 2001).

El principio de justicia procedimental requiere la implementación de comités de ética animal independientes que evalúen prospectivamente todos los protocolos experimentales con organismos acuáticos. Estos organismos deben incluir expertos en bienestar de peces e invertebrados acuáticos, no únicamente veterinarios de mamíferos. La revisión ética debe examinar la justificación científica, la minimización del daño potencial y la existencia de alternativas no animales. La transparencia en la toma de decisiones y la posibilidad de apelación constituyen garantías esenciales de justicia procesal (Grunow et al., 2023).

La tensión entre autonomía y beneficencia emerge frecuentemente en protocolos de investigación con peces modelo. Ciertos procedimientos beneficiosos para la ciencia, como la inmovilización para imágenes neuronales, pueden comprometer temporalmente la agencia del animal. La resolución ética de estos conflictos requiere un análisis proporcional que priorice la minimización de la restricción conductual y la duración de la intervención. La aplicación del principio de precaución sugiere favorecer aquellos diseños experimentales que preserven mayor

margen de maniobra para el sujeto investigado (Sneddon et al., 2023).

La no maleficencia en el contexto de transgénesis acuática implica consideraciones especiales respecto a efectos pleiotrópicos no anticipados. La manipulación genética de peces para fines de investigación puede generar fenotipos con sufrimiento crónico, deformidades esqueléticas o disfunciones metabólicas. El investigador adquiere la obligación de monitorear prospectivamente el bienestar de líneas genéticamente modificadas, estableciendo criterios claros de intervención o eutanasia. La creación de animales con compromisos de salud predecibles constituye una violación grave del principio de no daño (Tremopoulos, 2011; COGEM, 2024).

La justicia en el acceso a los beneficios de la investigación con organismos acuáticos demanda una distribución equitativa de conocimientos y aplicaciones tecnológicas derivadas. Comunidades pesqueras tradicionales y países en desarrollo frecuentemente proveen recursos biológicos para investigación sin recibir beneficios proporcionales. La bioética acuícola debe incorporar principios de justicia distributiva global, asegurando que los avances en sanidad acuícola o mejora genética beneficien a pequeños productores. Esta perspectiva desafía modelos de apropiación privativa de recursos genéticos acuáticos (Lam & Pitcher, 2016).

Ejemplo práctico 1: En un laboratorio de ecotoxicología marina, la aplicación del principio de autonomía se materializó mediante el diseño de sistemas de elección multicámara donde peces modelo (*Danio rerio*) podían seleccionar entre diferentes condiciones de flujo y sustrato durante estudios de toxicidad crónica. Este diseño permitió que los animales ejercieran preferencias conductuales mientras se cumplían objetivos científicos, reduciendo además marcadores de estrés fisiológico comparado con diseños de inmovilización forzada (Reiser et al., 2013).

Ejemplo práctico 2: Un comité de ética animal universitario rechazó recientemente un protocolo de investigación sobre comportamiento agresivo en camarones *Macrobrachium*

rosenbergii que proponía mantener a los animales en aislamiento prolongado sin enriquecimiento estructural. La decisión se fundamentó en la violación de los principios de beneficencia y no maleficencia, exigiendo al investigador la implementación de sustratos complejos y refugios que permitieran el establecimiento de jerarquías sociales naturales y la reducción de lesiones por agresión (Barki et al., 1991; Albalat et al., 2022).

10.3. Las 3Rs (Sustitución, Reducción, Refinamiento) en el laboratorio de biología marina

El principio de Sustitución (*Replacement*) constituye el estándar ético primario en investigación con organismos acuáticos, exigiendo el uso de métodos alternativos que eviten completamente el empleo de animales sentientes. En biología marina, esto incluye el desarrollo de cultivos celulares de tejido branquial o hepático, organoides tridimensionales, y modelos computacionales de toxicología acuática. La validación científica de estos sistemas alternativos ha alcanzado niveles predictivos comparables a estudios *in vivo* para ciertos parámetros, particularmente en evaluación de toxicidad de contaminantes marinos. La transición hacia estas metodologías representa un avance ético y metodológico significativo (Grunow et al., 2023).

La Sustitución parcial, utilizando organismos en estadios tempranos de desarrollo no sentientes, ofrece una vía intermedia en investigación con peces teleósteos. Los embriones de pez cebra (*Danio rerio*) en fases iniciales de desarrollo neural presentan ventajas éticas y metodológicas para estudios de toxicología y genética. Sin embargo, la determinación precisa del momento de desarrollo de la sensibilidad requiere vigilancia científica continua para garantizar que no se produzca sufrimiento. La aplicación rigurosa de este criterio demanda conocimiento especializado en neurodesarrollo de cada especie modelo (Nussbaum-Von Rütti et al., 2024).

El principio de Reducción (*Reduction*) implica la disminución del número mínimo de organismos acuáticos necesarios para obtener resultados científicamente válidos. Esta meta se alcanza mediante diseños experimentales robustos, análisis estadísticos *a*

priori de potencia, y la estandarización de condiciones ambientales que disminuyen la variabilidad intragrupo. La implementación de tecnologías de monitoreo no invasivo permite obtener datos longitudinales de individuos únicos, eliminando la necesidad de sacrificios seriados. La reducción no debe comprometer el bienestar individual mediante aumento de la densidad o disminución de recursos (NC3Rs, 2024).

El Refinamiento (*Refinement*) abarca todas las modificaciones de procedimientos experimentales y de mantenimiento que minimizan dolor, estrés y sufrimiento en organismos acuáticos. En laboratorios de biología marina, esto incluye el desarrollo de anestésicos específicos para peces y crustáceos, técnicas de muestreo no invasivas, y la optimización de parámetros físico-químicos del agua. El establecimiento de puntos finales humanitarios claros, basados en indicadores de bienestar fisiológicos y conductuales, permite intervenir antes de que se produzca sufrimiento severo. El refinamiento es un proceso continuo que se beneficia de la investigación prospectiva sobre bienestar específico por especie (Sabrautzki et al., 2021).

La aplicación integrada de las tres Rs requiere una jerarquía explícita donde la Sustitución prevalezca como objetivo primordial. Cuando la Sustitución absoluta no resulta factible metodológicamente, deben aplicarse simultáneamente Reducción y Refinamiento de manera sinérgica. Esta integración demanda planificación cuidadosa durante la fase de diseño experimental (*PREPARE* guidelines), anticipando potenciales conflictos entre minimización del número de animales y maximización del bienestar individual. La ética de la investigación exige que nunca se privilegie la reducción numérica sobre el refinamiento del bienestar (Smith et al., 2018).

El desarrollo de técnicas de identificación individual no invasivas en peces de laboratorio facilita significativamente la implementación de las 3Rs. Métodos como el marcado con elastómeros visible, fotoidentificación automatizada o marcado con isótopos estables permiten el seguimiento longitudinal de individuos sin necesidad de manipulación repetida. Esta capacidad

reduce el número total de animales requeridos para estudios de crecimiento o comportamiento y simultáneamente disminuye el estrés asociado al manejo. La inversión en tecnologías de identificación representa una aplicación práctica convergente de los principios de Reducción y Refinamiento (Carter et al., 2021).

La validación de métodos de sacrificio humanitario específicos para organismos acuáticos constituye un área crítica de refinamiento ético. La determinación de métodos que induzcan pérdida rápida e irreversible de la sensibilidad, sin causar estrés previo, requiere investigación empírica rigurosa. Para peces, la sobredosis anestésica seguida de destrucción física del sistema nervioso central ofrece garantías de irreversibilidad. En crustáceos, el aturdimiento eléctrico previo al procesamiento ha demostrado ser más efectivo que métodos térmicos tradicionales en términos de rapidez de inducción de insensibilidad (Roth & Grimsbø, 2016; Weineck et al., 2018).

Ejemplo práctico 1: Un laboratorio de fisiología de peces implementó cultivos primarios de células hepatopancreáticas de trucha arcoíris para evaluar efectos de toxinas algáceas, sustituyendo progresivamente experimentos *in vivo* de toxicidad aguda. Esta transición permitió obtener datos metabólicos específicos sin sacrificio de animales, reduciendo el uso de peces en un 70 % para este tipo de ensayos manteniendo la validez científica de los resultados (Grunow et al., 2023).

Ejemplo práctico 2: En un centro de investigación marina, la implementación de un Índice de Comportamiento de Peces (*Fish Behaviour Index*) automatizado permitió detectar cambios sutiles en patrones de natación de *D. rerio* individuales, facilitando la intervención temprana ante signos de dolor o estrés. Este sistema de monitoreo continuo refinó los criterios de intervención veterinaria, reduciendo la mortalidad incidental en un 40 % y disminuyendo el número de animales necesarios para estudios de comportamiento al permitir análisis longitudinales repetidos (Sneddon et al., 2023).

10.4. Dilemas morales en la manipulación genética y el manejo de especies exóticas

La introducción de organismos genéticamente modificados en sistemas acuícolas plantea dilemas éticos multidimensionales que trascienden la evaluación de riesgos ambientales convencionales. La alteración deliberada del genoma de peces para mejorar tasas de crecimiento, resistencia a enfermedades o tolerancia ambiental implica cuestiones sobre la integridad biológica y el *telos* específico de cada especie. Estas intervenciones pueden producir fenotipos con características novedosas que desafían categorizaciones taxonómicas tradicionales y complican la atribución de estatus moral. La evaluación ética debe considerar tanto el bienestar individual de los animales modificados como las implicaciones ecosistémicas potenciales de su eventual escape (COGEM, 2024).

El riesgo de escape de organismos modificados genéticamente hacia hábitats naturales constituye una preocupación ética central en biología. A diferencia de los sistemas terrestres, la contención física en ambientes acuáticos presenta desafíos técnicos singulares debido a la naturaleza fluida del medio y la dificultad de monitoreo. Los peces transgénicos poseen potencial de hibridación con poblaciones silvestres, transmisión horizontal de transgenes, y alteración de dinámicas poblacionales. La responsabilidad ética de prevenir estos escenarios recae tanto en los productores individuales como en los marcos regulatorios nacionales e internacionales (Tacchi et al., 2024).

La manipulación genética orientada a la "disminución" (*diminishment*) de capacidades animales para reducir sufrimiento en sistemas de confinamiento plantea paradojas éticas particularmente complejas. Si bien la reducción de sensibilidad al dolor o la limitación de comportamientos exploratorios podrían disminuir el malestar en entornos restrictivos, tales modificaciones comprometen la integridad biológica del organismo. Esta estrategia ha sido criticada como una respuesta inapropiada a errores históricos en el diseño de sistemas de producción, desviando la atención de la mejora ambiental hacia la adaptación forzada del animal a condiciones subóptimas. La ética ambiental sugiere que la

obligación primaria es modificar los sistemas de producción, no los organismos cultivados (Bovenkerk & Meijboom, 2019).

El manejo de especies exóticas en biología introduce dilemas éticos relacionados con la justicia distributiva y la soberanía alimentaria. La introducción de especies no nativas, como tilapias o camarones tropicales en zonas templadas, frecuentemente beneficia a corporaciones transnacionales mientras marginaliza a pescadores artesanales dependientes de especies nativas. Estas prácticas pueden resultar en la pérdida de biodiversidad local, alteración de redes tróficas y desplazamiento de conocimientos tradicionales de manejo de recursos acuáticos. La ética de la responsabilidad intergeneracional exige la consideración de los derechos de las futuras generaciones a heredar ecosistemas acuáticos funcionales (Xia et al., 2019; Xia et al., 2023).

La cuasi-imposibilidad de erradicación de especies exóticas establecidas genera obligaciones éticas de precaución particularmente estrictas. Una vez que organismos introducidos establecen poblaciones reproductivas en ecosistemas nuevos, las externalidades ecológicas y económicas recaen sobre comunidades que no participaron en la decisión de introducción. Este desajuste entre beneficios privados de la introducción y costes públicos de la invasión constituye una injusticia distributiva grave. Los principios de precaución y justicia ambiental demandan la carga de prueba invertida: quienes proponen la introducción deben demostrar la ausencia de riesgo, no la comunidad científica demostrar el daño (Lodge et al., 2016).

La tensión entre desarrollo económico y conservación biológica se manifiesta agudamente en decisiones sobre especies exóticas en biología. Argumentos utilitaristas que privilegian la seguridad alimentaria inmediata frecuentemente entran en conflicto con imperativos deontológicos de respeto a la integridad ecológica. La resolución de estos dilemas requiere procedimientos deliberativos inclusivos que incorporen perspectivas de comunidades locales, conocimiento ecológico tradicional y evaluaciones científicas de riesgo. La exclusión de actores relevantes en la toma de decisiones

sobre introducciones constituye una violación del principio de justicia procedimental (Kaiser & Burnell, 2021).

Los dilemas éticos en la ingeniería genética acuícola incluyen la cuestión de la apropiación y patentamiento de organismos vivos. La transformación de animales acuáticos en "inventos" sujetos a propiedad intelectual intensifica su instrumentalización y comodificación. Este proceso jurídico distorsiona la relación humano-animal, tratando a los organismos como máquinas biológicas susceptibles de optimización técnica sin consideración de su valor intrínseco. La ética de la dignidad animal rechaza la reducción de organismos acuáticos a objetos de propiedad, independientemente de los beneficios potenciales de la modificación genética (AAVS, 2021).

El principio de precaución exige moratorias en la liberación comercial de organismos genéticamente modificados hasta la resolución de incertidumbres científicas fundamentales. La imposibilidad de predecir interacciones ecosistémicas complejas y efectos pleiotrópicos tardíos fundamenta esta cautela epistemológica. La ética de la responsabilidad hacia las futuras generaciones impone estándares de evidencia particularmente estrictos cuando se trata de alteraciones genéticas irreversibles en sistemas acuáticos abiertos. La carga de la prueba debe recaer sobre quienes proponen la introducción, no sobre quienes advierten los riesgos (COGEM, 2024).

Ejemplo práctico 1: El caso del salmón transgénico *AquAdvantage*, modificado para crecimiento acelerado, ilustra los dilemas éticos de la manipulación genética en biología. Este organismo presenta deformidades craneomandibulares documentadas y requerimientos alimenticios elevados que comprometen su bienestar individual, mientras que el riesgo de escape plantea amenazas ecosistémicas potenciales. La evaluación ética de este caso debe ponderar la integridad animal, los riesgos ambientales y la justicia distributiva de los beneficios económicos generados (Tremopoulos, 2011; COGEM, 2024). *Ejemplo práctico 2:* La introducción de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en sistemas de biología del sur de China demuestra los dilemas éticos

de especies exóticas. Si bien esta especie incrementó la producción pesquera inmediata, generó competencia con especies nativas, alteración de redes tróficas y reducción de ingresos para pescadores tradicionales dependientes de carpas autóctonas. Este caso ejemplifica la externalización de costes ecológicos y sociales hacia comunidades vulnerables, violando principios de justicia distributiva y responsabilidad intergeneracional (Xia et al., 2019).

Resumen

Este capítulo examina la bioética aplicada a la biología desde una perspectiva epistemológica crítica. Se fundamenta la necesidad de trascender el mero cumplimiento legal hacia una reflexión moral profunda sobre el estatus de peces, crustáceos y moluscos como organismos sintientes. Se analizan los principios de autonomía conductual, beneficencia activa, no maleficencia y justicia distributiva en contextos experimentales y productivos. La aplicación de las 3Rs —Sustitución, Reducción y Refinamiento— se presenta como marco operativo obligatorio para la experimentación responsable, enfatizando métodos alternativos y minimización del sufrimiento. Finalmente, se exploran dilemas éticos en la manipulación genética de organismos acuáticos y la introducción de especies exóticas, abordando tensiones entre integridad biológica, desarrollo económico y conservación ecológica. El capítulo concluye que la bioética acuícola debe integrar evidencia científica, principios filosóficos sólidos y participación social para garantizar prácticas sostenibles y moralmente justificables en el siglo XXI.


CAPÍTULO 10: BIOÉTICA APLICADA A LA ACUICULTURA - RESUMEN CONCEPTUAL
BIOÉTICA EN LA ACUICULTURA
FUNDAMENTO EPISTEMOLÓGICO CRÍTICO
Trascender mero cumplimiento legal
Reflexión moral profunda: Organismos SINTIENTES
Fish
Crustaceans
Molluscs
PRINCIPIOS BIOÉTICOS APLICADOS
Autonomía Conductual
Beneficencia Activa
No Maleficencia
Justicia Distributiva
Contextos: Experimentales y Productivos
MARCO OPERATIVO OBLIGATORIO: LAS 3RS EN EXPERIMENTACIÓN
Sustitución (Métodos alternativos)
Reducción (Minimizar número)
Refinamiento (Minimizar sufrimiento, bienestar)
DILEMAS ÉTICOS CLAVE
Manipulación Genética
Incertidumbre
Integridad
Introducción de Especies Exóticas
Impacto ecológico
Biodiversidad
Integridad Biológica
Desarrollo Económico
Conservación Ecológica
CONCLUSIÓN: BIOÉTICA ACUÍCOLA DEL S. XXI
Integrar Evidencia Científica
Principios Filosóficos Sólidos
Participación Social
PRÁCTICAS SOSTENIBLES Y MORALMENTE JUSTIFICABLES

Referencias Bibliográficas

Albalat, A., Zacarias, S., Coates, C. J., Neil, D. M., & Planellas, S. R. (2022). Welfare in farmed decapod crustaceans, with particular reference to Penaeus vannamei. Frontiers in Marine Science, 9, 886024. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.886024

American Anti-Vivisection Society (AAVS). (2021). Genetic engineering, animal welfare, ethics, and regulation. AAVS Reports.

Barki, A., Karplus, I., & Goren, M. (1991). Aggressive behavior of male Macrobrachium rosenbergii as related to size and mating. Aquaculture, 92(1), 1-11.

Beauchamp, T. L., & Childress, J. F. (2001). Principles of biomedical ethics (5th ed.). Oxford University Press.

Birch, J., Schnell, A. K., & Clayton, N. S. (2021). Dimensions of animal consciousness. Trends in Cognitive Sciences, 25(6), 475-489.

Bovenkerk, B., & Meijboom, F. L. B. (2019). Ethical issues in genetic engineering of animals. In Encyclopedia of Food and Agricultural Ethics (pp. 1-8). Springer.

Carter, K. M., Woodley, C. M., & Brown, R. S. (2021). A review of non-physical fish tagging methods. Fisheries Research, 235, 105812.

Conte, F. S., Neil, D. M., & Albalat, A. (2021). Welfare in farmed decapod crustaceans. Animals, 11(10), 2834.

COGEM. (2024). Transgenic salmon, a safe product? Environmental risks and ethical aspects. CGM/031124-01.

Crustacean Compassion. (2025). Time for welfare improvements for decapod crustaceans. Crustacean Compassion Policy Brief.

Grunow, B., Albalat, A., Coates, C. J., & Neil, D. M. (2023). Status assessment and opportunities for improving fish welfare in animal experimental research according to the 3R-Guidelines.

Reviews in Fish Biology and Fisheries, 33(4), 1241-1260. https://doi.org/10.1007/s11160-023-09781-8

Kaiser, M. J., & Burnell, G. (2021). Marine aquaculture and the environment: A meeting for stakeholders in aquaculture. CRC Press.

Lam, M. E., & Pitcher, T. J. (2016). The ethics and sustainability of capture fisheries and aquaculture. In The Ethics of Aquaculture (pp. 1-25). Springer.

Lodge, D. M., Dearden, R. A., & Froelich, C. (2016). Global hotspots of established alien species. Nature, 544(7649), 189-194.

Meijboom, F. L. B., & Bovenkerk, B. (2025). Fish resilience is an ethical issue. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 38(1), 1-18.

Neil, D. M., Thompson, J., & Roth, B. (2022). Welfare issues at slaughter in decapod crustaceans. Frontiers in Veterinary Science, 9, 877945.

NC3Rs. (2024). Toward a common interpretation of the 3Rs principles in animal research. Nature Communications Biology.

Nussbaum-Von Rütti, L., Bürgisser, J., & Fischer, K. (2024). Early-life stress in fish: Mechanisms and implications for aquaculture. Aquaculture, 578, 740098.

Reiser, S., Herrmann, J. P., & Temming, A. (2013). Laboratory experiments on the habitat choice and growth of Crangon crangon. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 448, 175-183.

Roth, B., & Grimsbø, E. (2016). Electrical stunning of crabs: Effect on heart rate. Fisheries Science, 82(4), 635-641.

Roth, B., & Øines, S. (2010). Stunning and killing of edible crabs. Animal Welfare, 19(3), 281-286.

Sabrautzki, S., Rüttinger, C., & Tolba, R. H. (2021). Welfare assessment of adult laboratory zebrafish: A practical guide. Zebrafish, 18(4), 282-292.

Smith, J. A., Birke, L., & Sadler, D. (2018). Reporting guidelines for animal research. NC3Rs.

Sneddon, L. U., Lopez-Luna, J., & Grunow, B. (2023). Refining the use of fish in research. NC3Rs Research Round-up.

Tacchi, L., et al. (2024). Governance perspectives on genetically modified animals for agriculture and aquaculture. Animals, 15(18), 2731.

Tremopoulos, M. (2011). Ethical and animal welfare issues in relation to the genetic modification of animals. European Parliament Written Question, E-005053/2011.

Weineck, K., et al. (2018). Evaluation of stunning methods in Litopenaeus vannamei. Aquaculture, 495, 364-371.

Xia, L., Gu, D., & Zhang, T. (2019). Ecological and economic impacts of exotic fish species on fisheries in the Pearl River basin. Management of Biological Invasions, 10(1), 35-50.

Zacarias, S., et al. (2019). Non-ablated Penaeus vannamei maturation systems. Aquaculture, 512, 734222.

Zacarias, S., et al. (2021). Predictable maturation without eyestalk ablation. Aquaculture, 534, 736322.

Capítulo 11
Ética ambiental y justicia ecológica en la industria acuícola

Ética ambiental y justicia ecológica en la industria acuícola

La ética ambiental constituye una rama filosófica que examina la relación moral entre los seres humanos y el entorno natural, desafiando la tradición antropocéntrica occidental que otorga valor exclusivo a la especie humana (Di Paola, 2024). En el contexto acuícola, esta disciplina adquiere relevancia particular al interrogarse sobre el estatus moral de los organismos acuáticos cultivados, la integridad de los ecosistemas marinos alterados por la industrialización piscícola, y la distribución equitativa de los beneficios y costos ambientales derivados de esta actividad productiva (Ciliberti et al., 2024). La justicia ecológica, por su parte, extiende el concepto de justicia más allá de la esfera humana para reconocer que los sistemas ecológicos poseen derechos inherentes a la existencia, la regeneración y la evolución de sus componentes bióticos y abióticos (Schlosberg, 2023). Esta perspectiva resulta fundamental para comprender los conflictos socio-ambientales contemporáneos, donde la biología industrial a menudo reproduce lógicas extractivistas que privilegian el crecimiento económico sobre la sostenibilidad biofísica de los océanos (Neyra, 2021).

La distinción entre valor instrumental e intrínseco del entorno natural determina las orientaciones éticas predominantes en la gestión de sistemas acuícolas modernos (Hourdequin, 2024). Mientras el antropocentrismo strong evalúa los ecosistemas marinos exclusivamente según su utilidad para satisfacer necesidades humanas de alimentación, empleo o desarrollo económico, el ecocentrismo reconoce que los hábitats acuáticos, las especies cultivadas y las comunidades ecológicas poseen valor inherente independientemente de su contribución al bienestar humano (Sessions, 1974). Esta tensión epistemológica se manifiesta en las políticas públicas pesqueras, donde frecuentemente prevalecen criterios tecnocráticos de productividad

sobre consideraciones de integridad ecológica o justicia intergeneracional (Kopnina, 2019). La comprensión de estas coordenadas filosóficas resulta indispensable para el biólogo del



11.1. Antropocentrismo vs. ecocentrismo: fundamentos filosóficos del manejo de sistemas acuícolas

El antropocentrismo representa una orientación ontológica que sitúa al ser humano como el eje central de la preocupación moral, estableciendo una separación jerárquica y dualista entre la cultura humana y la naturaleza no humana (Kopnina, 2019). Esta cosmovisión, arraigada en la tradición aristotélica de la *scala naturae* y reforzada por el pensamiento ilustrado moderno, fundamenta que los ecosistemas acuáticos carecen de valor intrínseco, existiendo únicamente como reservorios de recursos destinados a satisfacer demandas humanas de proteína animal, empleo o desarrollo territorial (O'Neill, 1997). En la planificación de sistemas acuícolas, esta perspectiva traduce la naturaleza en capital natural explotable, donde la eficiencia productiva, la maximización de rendimientos y la rentabilidad económica constituyen los parámetros éticos predominantes para evaluar la legitimidad de las prácticas de cultivo (Hourdequin, 2024).

Contrariamente, el ecocentrismo postula que los ecosistemas, las especies y los procesos ecológicos ostentan valor moral inherente, independientemente de su utilidad instrumental para los seres humanos (McShane, 2013). Esta orientación ontológica sitúa a *Homo sapiens* como miembro de una comunidad ecológica más amplia, caracterizada por la interdependencia, la reciprocidad y el reconocimiento de límites biofísicos planetarios (Mathews, 1995). Desde esta perspectiva ética, las decisiones sobre el manejo de instalaciones acuícolas deben priorizar la preservación de la integridad ecológica, la biodiversidad marina y el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, subordinando los objetivos de producción humana a los imperativos de sostenibilidad ecosistémica (Leopold, 1949/2020). El cuidado de la comunidad biótica, incluyendo suelos, aguas, plantas y animales acuáticos, emerge como principio rector para comprobar la corrección moral de las acciones de cultivo (Leopold, 1949).

El conflicto entre estas orientaciones filosóficas trasciende el ámbito académico para configurar disputas reales en la gobernanza ambiental de la biología global (Norton, 2005). Los actores antropocéntricos —agencias estatales, corporaciones industriales y

planificadores del desarrollo— enfatizan el crecimiento económico, la expansión infraestructural y el bienestar humano centrado en el consumo, mientras que los actores ecocéntricos —comunidades indígenas, biólogos conservacionistas y movimientos ambientalistas— abogan por la protección de la resiliencia ecológica y el respeto a los límites biofísicos (Dawson et al., 2021). Estas tensiones se manifiestan en debates sobre la ubicación de granjas salmoneras en Chile, donde la lógica productivista choca contra la defensa de la biodiversidad marina y los derechos de las comunidades locales a ecosistemas no degradados (Oceana, 2025).

La resolución de estos conflictos epistemológicos requiere modelos dialógicos que reconozcan la legitimidad de ambas cosmovisiones sin presuponer la necesidad de consenso total (Abas et al., 2026). El Dialogical Environmental Worldview Integration Model (DEWIM) propone que la gestión ambiental sostenible debe involucrar procesos de reconocimiento mutuo, escucha ética y negociación deliberativa entre portadores de valores antropocéntricos y ecocéntricos (Abas et al., 2026). Este enfoque resulta particularmente pertinente para la biología, donde la coexistencia de intereses económicos, de conservación y de justicia social demanda arreglos institucionales híbridos que trasciendan la dicotomía desarrollo versus conservación.

Ejemplo 1: En la Bahía de Sechura, Perú, la expansión de la biología de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) ilustra el enfrentamiento entre lógicas antropocéntricas productivistas y consideraciones ecocéntricas de conservación. El "boom" de la concha de abanico iniciado en 2008 promovió una lógica de acceso abierto y maximización de la producción para mercados de exportación, generando sobrepesca de semillas, extracción ilegal en áreas protegidas de Lobos de Tierra y degradación de la calidad sanitaria de la bahía (López de la Lama et al., 2018). Las autoridades y empresas priorizaron el valor instrumental del recurso para generación de divisas, mientras que la perspectiva ecocéntrica —defendida por biólogos marinos y algunos pescadores artesanales— alertaba sobre el colapso del banco natural de semillas y la pérdida de la integridad ecosistémica de la Reserva Nacional de Islas, Islotes y Puntas Guaneras (Mendo et al., 2016).

La imposición de moratorias sanitarias por parte de la Unión Europea en 2008 y 2017 evidenció los límites de la gestión puramente antropocéntrica, obligando a una reconfiguración hacia enfoques de cogestión que incorporan consideraciones de sostenibilidad ecológica (López de la Lama et al., 2018).

Ejemplo 2: La industria salmonera en Chile demuestra las tensiones entre antropocentrismo tecnocrático y ecocentrismo conservacionista. Durante las últimas décadas, el modelo productivista expandió jaulas marinas en áreas de alta biodiversidad, utilizando argumentos de seguridad alimentaria global y desarrollo económico regional para justificar la introducción de especies exóticas (*Salmo salar*) y el uso de químicos y antibióticos (Quiñones et al., 2019). Entre 2011 y 2021, 1.73 millones de salmones escaparon de granjas noruegas, amenazando la estructura genética de poblaciones silvestres y transmitiendo patógenos a especies nativas (Strand et al., 2024). Frente a esta crisis, movimientos ecocéntricos han impulsado el reconocimiento legal de derechos de la naturaleza en ríos y ecosistemas afectados, mientras que el paradigma antropocéntrico defiende la expansión de la biología como contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Oceana, 2025). La judicialización de estos conflictos refleja la imposibilidad de reconciliar ambas cosmovisiones sin mediación ética explícita.

11.2. Ética ambiental aplicada a la sostenibilidad de la biología

La aplicación de la ética ambiental a la sostenibilidad acuícola requiere trascender el enfoque puramente tecnicista de la producción piscícola para incorporar consideraciones sobre el bienestar de los organismos cultivados, la integridad de los ecosistemas receptor y la justicia distributiva en las cadenas de valor (Grigorakis, 2010). El enfoque multidimensional de la ética acuícola contempla tres esferas interrelacionadas: la responsabilidad hacia los animales acuáticos como seres sintientes, la obligación de preservar la biodiversidad y los procesos ecosistémicos, y el deber de garantizar condiciones laborales dignas y distribución equitativa de beneficios entre las comunidades

locales (Ciliberti et al., 2024). Esta complejidad ética deriva de la naturaleza híbrida de la biología, que simultáneamente constituye una actividad económica, una intervención ecológica y una relación interespecífica mediada por la tecnología (Bovenkerk & Meijboom, 2020).

El bienestar animal en biología representa un imperativo ético emergente, respaldado por evidencias científicas sobre la capacidad de los peces para experimentar estados afectivos negativos y procesar estímulos nociceptivos (Sneddon, 2019). La densidad de siembra, la calidad del agua, el enriquecimiento ambiental y los protocolos de sacrificio constituyen parámetros éticamente relevantes que trascienden la mera eficiencia productiva para involucrar consideraciones sobre el sufrimiento evitable y la expresión de comportamientos naturales (Huntingford et al., 2007). La Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo establece un marco de acción comunitaria que vincula explícitamente el bienestar de los animales acuáticos con la sostenibilidad ambiental, reconociendo que las prácticas que degradan las condiciones de vida de los organismos cultivados simultáneamente comprometen la salud de los ecosistemas marinos (Unión Europea, 2008).

La dimensión ecosistémica de la ética acuícola aborda los impactos ambientales de la maricultura industrial, incluyendo la eutrofización por nutrientes de alimentos no consumidos y excretas, la transmisión de enfermedades a poblaciones silvestres, y la alteración genética mediante escapes de organismos cultivados (Krkosek et al., 2024). Estos efectos externos negativos constituyen injusticias ecológicas cuando son soportados desproporcionadamente por comunidades locales y ecosistemas que no reciben compensación por la degradación sufrida (Martínez-Alier et al., 2016). La ética ambiental demanda la internalización de estos costos ecológicos en los precios de mercado y la adopción del principio de precaución ante la incertidumbre científica sobre los impactos de nuevas especies o tecnologías de cultivo (Olesen et al., 2011).

La perspectiva de las Humanidades Azules Feministas (Feminist Blue Humanities) enriquece el debate ético al señalar que la

intensificación de la maricultura no solo afecta a los animales cultivados, sino que reconfigura material y ontológicamente los océanos, alterando las relaciones entre especies y entre humanos y naturaleza (Alison, 2024). Este enfoque critica la lógica androcéntrica y antropocéntrica que trata a los organismos marinos como recursos biológicos simples, ignorando sus agencialidades y las formas complejas de coexistencia que la industrialización acuícola interrumpe. La ética de la alteridad y el cuidado (*care*) emerge como alternativa para repensar las prácticas acuícolas desde la reciprocidad y el respeto a la autonomía de los seres acuáticos.

Ejemplo 1: La producción de salmón en Noruega ilustra la tensión entre la ética del cuidado y la lógica productivista. En 2019, más de 50 millones de salmones en cautiverio murieron durante la etapa final de engorde en jaulas marinas, representando un aumento del 27.8 % en cinco años y evidenciando las fallas éticas del modelo intensivo (EJF, 2023). Las causas incluyen infestaciones de piojos de mar, enfermedades bacterianas y estrés por densidad, condiciones que comprometen el bienestar animal y generan externalidades ambientales mediante el uso de pesticidas químicos. Frente a esta crisis, la legislación noruega ha incorporado provisiones de sacrificio humanitario que exigen aturdimiento previo, reconociendo el estatus moral de los peces como seres sintientes (Oceana, 2025). Simultáneamente, el Reino Unido reconoció en 2022 a cangrejos, pulpos y langostas como animales sintientes, estableciendo obligaciones éticas para su manejo en biología (Revelator, 2025).

Ejemplo 2: La biología de langostinos (*Litopenaeus vannamei*) en América Latina y Asia evidencia los conflictos entre sostenibilidad ambiental y justicia social. La expansión de camaroneras en Ecuador, Honduras y Indonesia provocó la destrucción de manglares —ecosistemas de crucial importancia para la protección costera y la seguridad alimentaria de comunidades pesqueras— y la expulsión forzada de poblaciones locales sin compensación adecuada (EJF, 2004). Se estima que solo en Bangladesh, 100,000 personas fueron desplazadas de sus tierras agrícolas en la región de Satkhira debido a la salinización causada

por granjas camaroneras. La ética ambiental aplicada a este contexto demanda no solo la restauración de manglares y la reducción del uso de antibióticos, sino el reconocimiento de los derechos territoriales de las comunidades afectadas y la distribución justa de los beneficios económicos generados por la industria (Belton et al., 2020).

11.3. Justicia ambiental y conflictos socio-ambientales de la biología en el Perú

La justicia ambiental en el contexto peruano exige la distribución equitativa de los beneficios y cargas ambientales derivados de la biología, el reconocimiento de los derechos de las comunidades locales a participar en las decisiones que afectan sus territorios, y la preservación de la integridad de los ecosistemas acuáticos para las generaciones presentes y futuras (Schlosberg, 2023). Sin embargo, el modelo de desarrollo extractivista implementado en las últimas décadas ha priorizado la producción para exportación de especies de alto valor comercial —como la concha de abanico y el langostino— mediante la privatización de columnas de agua y la concentración de concesiones en grandes consorcios empresariales (Garteizgogeascoa et al., 2022). Esta configuración institucional genera conflictos socio-ambientales estructurales donde pescadores artesanales y comunidades ribereñas experimentan la exclusión de zonas tradicionales de pesca, la criminalización de sus prácticas ancestrales y la apropiación privada de recursos comunes históricamente gestionados colectivamente (Neyra, 2021).

Los conflictos en la Bahía de Sechura, principal zona productora de concha de abanico del Perú, ilustran las tensiones entre el ordenamiento jurídico formal y las prácticas institucionales híbridas que caracterizan la gobernanza pesquera peruana (López de la Lama et al., 2018). La privatización de áreas de cultivo mediante concesiones a organizaciones de pescadores artesanales (OSPA) generó procesos de exclusión donde pescadores tradicionales de localidades como Constante fueron desplazados a zonas de "buffer" declaradas insalubres, mientras migrantes de otras regiones accedían a mejores concesiones mediante relaciones clientelares con empresas procesadoras (Garteizgogeascoa et al., 2022). El Decreto Legislativo N.° 1393 de 2018, que criminaliza la

pesca artesanal no autorizada y autoriza la destrucción de embarcaciones y equipos, representa la tendencia estatal a la represión de disidencias socio-ambientales en lugar de la negociación de derechos (Defensoría del Pueblo, 2020).

La justicia distributiva se ve comprometida por la asimetría en las relaciones de poder entre OSPA y plantas procesadoras industriales. Los pescadores artesanales enfrentan acuerdos comerciales inequitativos donde los precios de compra son fijados unilateralmente por empresas exportadoras, mientras que los costos de certificación sanitaria y cumplimiento de estándares internacionales recaen sobre los productores (López de la Lama et al., 2018). La ausencia de capital social y cohesión comunitaria —evidenciada en el colapso de FREMARSEC por corrupción interna y la prevalencia de conflictos entre OSPA familiares— debilita la capacidad de negociación colectiva de los pescadores frente a la industria (López de la Lama et al., 2018). Esta dinámica reproduce lo que Martínez-Alier denomina "extractivismo de recursos naturales", donde la biología funciona como vector de acumulación por desposesión para mercados globales (Martínez-Alier et al., 2016).

La dimensión de reconocimiento de la justicia ambiental involucra el respeto a la identidad cultural de los pescadores artesanales y su derecho a mantener formas de vida asociadas al manejo tradicional de recursos marinos (Schlosberg, 2023). La legislación peruana establece una separación rígida entre pesca extractiva y biología, ignorando que muchas prácticas tradicionales combinan ambas actividades de manera sostenible (Garteizgogeascoa et al., 2022). La Reserva Nacional de Islas, Islotes y Puntas Guaneras, creada para proteger la biodiversidad, se convierte en espacio de conflicto cuando pescadores artesanales extraen semillas de concha de abanico de Lobos de Tierra —práctica prohibida desde 2006, pero tolerada por la incapacidad estatal de fiscalización— argumentando su derecho histórico de acceso a recursos comunes (Mendo et al., 2016). La imposición de áreas protegidas sin mecanismos de compensación o participación efectiva constituye una injusticia de reconocimiento al invalidar

epistemologías locales sobre el manejo sostenible de ecosistemas marinos.

La justicia procedimental requiere la inclusión de los pescadores artesanales en la toma de decisiones sobre ordenamiento espacial marino y políticas de desarrollo acuícola (Neyra, 2021). En el Perú, los procesos de formalización impulsados por el Ministerio de la Producción (PRODUCE) han sido criticados por su carácter top-down, que impone requisitos técnicos y burocráticos inaccesibles para pequeños productores, privilegiando la consolidación de grandes grupos económicos (Garteizgogeascoa et al., 2022). La creación del Consejo de Representantes de la Bahía de Sechura en 2016 representa un avance hacia la cogestión, aunque la persistencia de prácticas informales e ilegales —como la extracción de semillas bajo talla y el funcionamiento de plantas procesadoras clandestinas— evidencia la deslegitimación de las instituciones formales por parte de actores que perciben estas regulaciones como injustas (López de la Lama et al., 2018).

Ejemplo 1: El conflicto por la concha de abanico en Sechura durante el período 2008-2017 demuestra la acumulación de injusticias distributivas, de reconocimiento y procedimentales. El "boom" exportador generó riqueza concentrada en empresas procesadoras y unos pocos OSPA con acceso a concesiones privilegiadas, mientras que comunidades enteras como Constante fueron excluidas de los beneficios económicos (Garteizgogeascoa et al., 2022). Las moratorias sanitarias impuestas por la Unión Europea en 2008 y 2017 afectaron a toda la bahía debido a las prácticas irresponsables de algunos actores, evidenciando la vulnerabilidad de un sistema donde la ausencia de justicia procedimental impide la autorregulación comunitaria. Pescadores artesanales bloquearon carreteras y protestaron contra la Ley N.° 1393, argumentando que el Estado protege los intereses industriales mientras criminaliza la subsistencia (Defensoría del Pueblo, 2020).

Ejemplo 2: La expansión de la biología de trucha en lagunas altoandinas del departamento de Puno ilustra conflictos de justicia ambiental interseccional. La introducción de trucha arcoíris

(*Oncorhynchus mykiss*) —especie exótica— para consumo doméstico y exportación generó la desaparición de poblaciones nativas de *Orestias* y *Trichomycterus*, afectando la seguridad alimentaria de comunidades campesinas que dependían tradicionalmente de la pesca de peces nativos (Maldonado, 2022). La política de fomento acuícola del Estado peruano, orientada a la producción de biomasa para mercados urbanos, ignoró los conocimientos ecológicos locales sobre la vulnerabilidad de ecosistemas lacustres altoandinos y los derechos de las comunidades indígenas aymaras y quechuas sobre territorios y aguas ancestrales. Este caso ejemplifica cómo la biología, promovida como actividad de desarrollo sostenible, puede reproducir colonialismos internos al priorizar lógicas productivistas occidentales sobre ontologías indígenas que reconocen la personalidad jurídica de cuerpos de agua y la interconexión espiritual entre humanos, peces y lagunas (Neyra, 2021).

Resumen

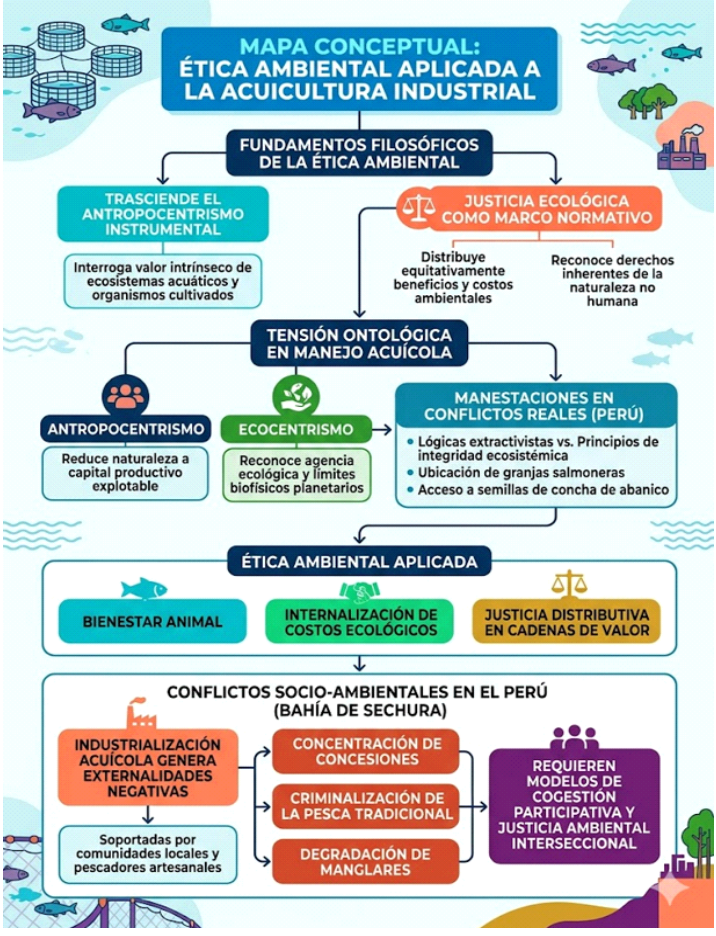
El capítulo examina los fundamentos filosóficos de la ética ambiental aplicada a la biología industrial contemporánea. Se establece que la ética ambiental trasciende el antropocentrismo instrumental para interrogarse sobre el valor intrínseco de los ecosistemas acuáticos y los organismos cultivados. La justicia ecológica emerge como marco normativo que distribuye equitativamente beneficios y costos ambientales, reconociendo derechos inherentes a la naturaleza no humana.

Se analiza la tensión ontológica entre antropocentrismo y ecocentrismo en el manejo de sistemas acuícolas. Mientras el primero reduce la naturaleza a capital productivo explotable, el segundo reconoce la agencia ecológica y los límites biofísicos planetarios. Esta disputa se manifiesta en conflictos reales sobre ubicación de granjas salmoneras y acceso a semillas de concha de abanico en el Perú, donde lógicas extractivistas chocan contra principios de integridad ecosistémica.

La ética ambiental aplicada aborda el bienestar animal, la internalización de costos ecológicos y la justicia distributiva en

cadenas de valor. Se examina cómo la industrialización acuícola genera externalidades negativas soportadas desproporcionadamente por las comunidades locales y los pescadores artesanales.

El texto estudia los conflictos socio-ambientales en el Perú, particularmente en la bahía de Sechura, donde la concentración de concesiones, la criminalización de la pesca tradicional y la degradación de manglares evidencian claras injusticias distributivas, de reconocimiento y procedimentales que requieren urgentemente modelos de cogestión participativa y justicia ambiental interseccional.



Referencias

Abas, A., Diansyah, M. W., & Sakawi, Z. (2026). Dialogical Environmental Worldview Integration Model (DEWIM): Reconciling human–human conflict between anthropocentrism and ecocentrism in environmental management. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 39(1), 1-25. https://doi.org/10.1007/s10806-026-09977-5

Belton, B., Little, D. C., & Zhang, W. (2020). Aquaculture in developing countries: Status, constraints and prospects. WorldFish Center. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735632

Bovenkerk, B., & Meijboom, F. (2020). Ethics and the welfare of fish. En T. S. Kristiansen et al. (Eds.), The welfare of fish (pp. 19-42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41675-7_2

Ciliberti, R., Alfano, L., & Petralia, P. (2024). Ethics in aquaculture: Animal welfare and environmental sustainability. Journal of Preventive Medicine and Hygiene, 65(1), E1-E10. https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2024.65.1.3136

Dawson, N. M., Coolsaet, B., Sterling, E. J., & Loveridge, R. (2021). The role of Indigenous peoples and local communities in effective and equitable conservation. Ecology and Society, 26(3), 19. https://doi.org/10.5751/ES-12625-260319

Defensoría del Pueblo. (2020). Conflictos socio-ambientales en el Perú: Informe anual 2020. Lima: Defensoría del Pueblo.

Di Paola, M. (2024). Virtue, environmental ethics, nonhuman values, and anthropocentrism. Philosophies, 9(1), 15. https://doi.org/10.3390/philosophies9010015

Environmental Justice Foundation (EJF). (2004). Smash & grab: Conflict, corruption and human rights abuses in the shrimp farming industry. EJF. https://ejfoundation.org/resources/downloads/smash_and_grab.pdf

Environmental Justice Foundation (EJF). (2023). A manifesto for our ocean. EJF. https://ejfoundation.org/resources/downloads/EJF-Ocean-Manifesto-2023.pdf

Garteizgogeascoa, M., González, J., & Paredes, C. (2022). Intertwined realities — hybrid institutions in the Peruvian fisheries and aquaculture sectors. Maritime Studies, 20, 1-15. https://doi.org/10.1007/s40152-022-00242-7

Grigorakis, K. (2010). Ethical issues in aquaculture production. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 23(4), 345-370. https://doi.org/10.1007/s10806-009-9210-5

Hourdequin, M. (2024). Environmental ethics: From theory to practice. Bloomsbury Publishing.

Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., & Kadri, S. (2007). Current issues in fish welfare. Journal of Fish Biology, 70(4), 1311-1316. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.001046.x

Kopnina, H. (2019). Anthropocentrism and post-humanism. The International Encyclopedia of Anthropology, 1, 1-8. https://doi.org/10.1002/9781118924396.wbiea2312

Krkosek, M., Ford, J. S., & Morton, A. (2024). Sea lice and salmon health: Thresholds for management and conservation. Reviews in Aquaculture, 16(1), 123-145. https://doi.org/10.1111/raq.12847

Leopold, A. (1949/2020). A Sand County almanac: And sketches here and there. Oxford University Press.

López de la Lama, R., Valdés-Velasquez, A., Huicho, L., & Morales, E. (2018). Exploring the building blocks of social capital in the Sechura Bay (Peru): Insights from Peruvian scallop (Argopecten purpuratus) aquaculture. Ocean & Coastal Management, 165, 250-262. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.09.001

Maldonado, J. (2022). Peces nativos versus trucha arcoíris: Conflictos ambientales en lagunas altoandinas. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.

Martínez-Alier, J., Temper, L., & Bene, D. D. (2016). Is there a global movement for environmental justice? Journal of Peasant Studies, 43(3), 731-755. https://doi.org/10.1080/03066150.2016.1143455

Mathews, F. (1995). Ecofeminism and the self: From identity to interconnection. Routledge.

McShane, K. (2013). Anthropocentrism vs. non-anthropocentrism: Why should we care? Environmental Ethics, 35(1), 1-16. https://doi.org/10.5840/enviroethics20133511

Mendo, J., Alcázar, J., & Llaguno, C. (2016). Situación actual de la producción de la concha de abanico en el Perú. IMARPE.

Neyra, R. (2021). Conflictos socio-ambientales en Perú: Violencia y extractivismo. Abya-Yala.

Oceana. (2025). Aquaculture: Environmental impacts and sustainable solutions. https://oceana.org/aquaculture/

Olesen, I., Myhr, A. I., & Rosendal, G. K. (2011). Sustainable aquaculture: Are we getting there? Ethical perspectives on salmon farming. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 24, 381-408. https://doi.org/10.1007/s10806-010-9269-z

Quiñones, R. A., Saldías, G. S., & Fuentes, M. (2019). Escape of farmed salmon in Chile: Lessons learned and implications for environmental sustainability. Aquaculture Environment Interactions, 11, 313-328. https://doi.org/10.3354/aei00321

Schlosberg, D. (2023). Defining environmental justice: Theories, movements, and nature. Oxford University Press.

Sessions, G. S. (1974). Anthropocentrism and the environmental crisis. Humboldt Journal of Social Relations, 2(1), 71-81.

Sneddon, L. U. (2019). Evolution of nociception and pain: Evidence from fish models. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 374(1785), 20190290. https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0290

Spring, A. (2024). Ethical challenges in mariculture: Adopting a feminist blue humanities approach. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 37(1), 1-18. https://doi.org/10.1007/s10806-024-09921-5

Strand, Å., Jørgensen, C., & Gjøen, H. M. (2024). Genetic impact of escaped farmed Atlantic salmon on wild populations in Norway. ICES Journal of Marine Science, 81(2), 245-259. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad123

Capítulo 12
Responsabilidad Social Universitaria y el compromiso ético del científico acuícola

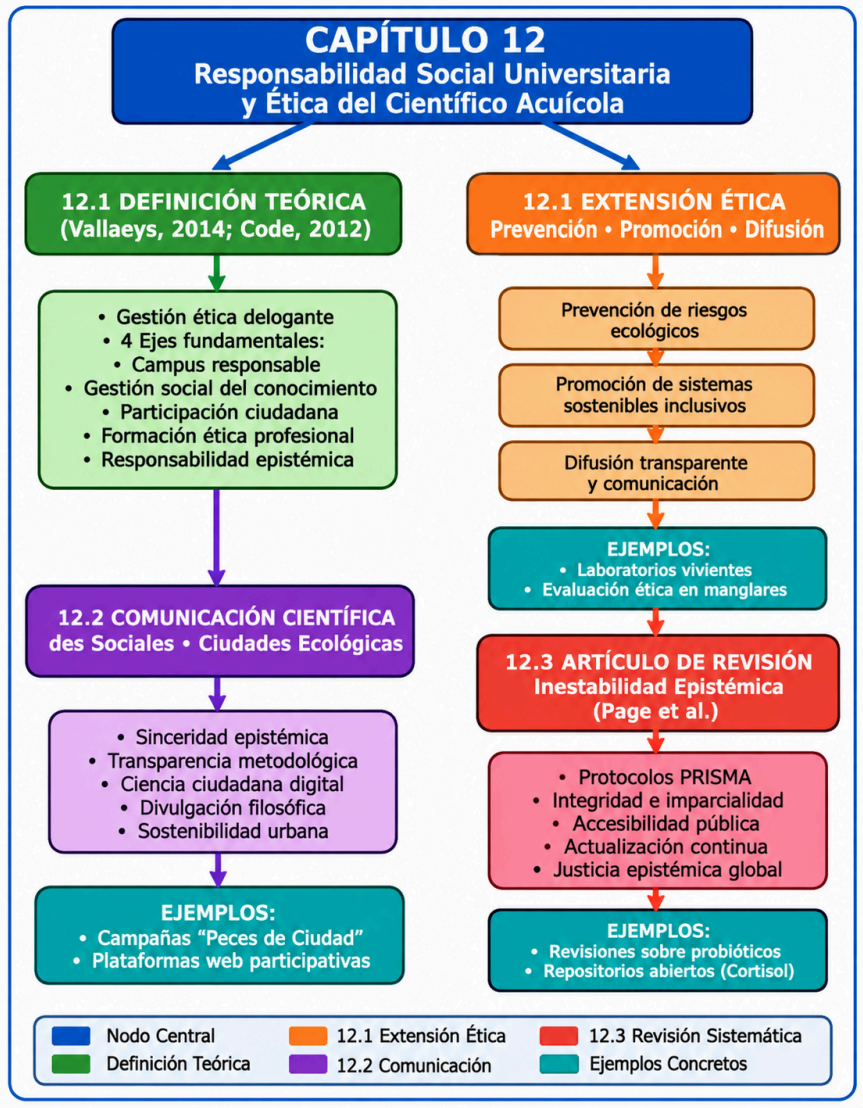
Responsabilidad Social Universitaria y el compromiso ético del científico acuícola

La Responsabilidad Social Universitaria (RSU) constituye una política de calidad ética orientada a gestionar los impactos educativos, cognitivos, laborales y ambientales de la institución académica mediante un diálogo participativo con la sociedad para promover el desarrollo humano sostenible (Vallaeys, 2014). Esta noción trasciende la filantropía tradicional o la extensión unidireccional del conocimiento hacia la comunidad, configurándose como una gestión justa y sostenible de los impactos universitarios en sus dimensiones organizacional, académica y social. En el contexto de la biología, la RSU adquiere una densidad epistemológica particular, dado que el biólogo marino opera en la intersección entre la producción de conocimiento biológico y la manipulación directa de ecosistemas acuáticos, donde las decisiones éticas poseen consecuencias tangibles sobre la biodiversidad y las comunidades humanas dependientes de los recursos pesqueros (Vallaeys, 2014).

La ética profesional del científico acuícola se fundamenta en la responsabilidad epistémica, entendida como la obligación de fundamentar adecuadamente las creencias y afirmaciones científicas, especialmente cuando estas informan políticas públicas o prácticas productivas que afectan ecosistemas vulnerables (Code, 2012). Esta responsabilidad exige que el investigador en biología no se limite a la acumulación de datos empíricos, sino que reflexione críticamente sobre las implicaciones ontológicas y axiológicas de sus descubrimientos. La investigación biológica aplicada a la producción acuática implica necesariamente juicios de valor respecto al bienestar animal, la sostenibilidad ambiental y la justicia distributiva de los recursos, aspectos que trascienden el dominio estrictamente técnico-empírico (León Olivé y Pérez Tamayo, 2018).

El compromiso ético del biólogo acuícola del siglo XXI se articula mediante cuatro ejes fundamentales: el campus responsable, la gestión social del conocimiento, la participación social y la formación profesional ciudadana (Vallaeys et al., 2009). Estos ejes configuran un marco operativo donde la producción científica en biología debe responder no solo a criterios de validez interna y reproducibilidad metodológica, sino también a estándares de transparencia, rendición de cuentas y diálogo vínculo con los actores sociales. La universidad, en tanto institución generadora de conocimiento científico aplicado a la biología, debe garantizar que sus prácticas de investigación y extensión constituyan modelos de conducta ética que prevengan riesgos ambientales y promuevan el desarrollo sostenible (Espitia et al., 2020).

La dimensión epistemológica de la RSU en biología implica reconocer que el conocimiento científico es provisional, probabilístico y dependiente del contexto, características que demandan una comunicación científica transparente sobre las limitaciones y certezas de los hallazgos (Figdor, 2017). El científico acuícola debe asumir que sus afirmaciones sobre el comportamiento de especies cultivadas, el impacto ambiental de sistemas de producción o la seguridad alimentaria de productos acuícolas poseen consecuencias materiales para la sociedad. Por tanto, la responsabilidad social universitaria exige que la investigación en biología se realice con integridad epistémica, honestidad en la presentación de datos y apertura al escrutinio crítico, valores que constituyen el fundamento de la confianza pública en la ciencia (De Winter y Kosolosky, 2024).


CAPÍTULO 12
Responsabilidad Social Universitaria
y Ética del Científico Acuícola
12.1 DEFINICIÓN TEÓRICA
(Vallaeys, 2014; Code, 2012)
• Gestión ética delogante
• 4 Ejes fundamentales:
• Campus responsable
• Gestión social del conocimiento
• Participación ciudadana
• Formación ética profesional
• Responsabilidad epistémica
12.2 COMUNICACIÓN CIENTÍFICA
des Sociales • Ciudades Ecológicas
• Sinceridad epistémica
• Transparencia metodológica
• Ciencia ciudadana digital
• Divulgación filosófica
• Sostenibilidad urbana
EJEMPLOS:
• Campañas "Peces de Ciudad"
• Plataformas web participativas
12.1 EXTENSIÓN ÉTICA
Prevención • Promoción • Difusión
Prevención de riesgos
ecológicos
Promoción de sistemas
sostenibles inclusivos
Difusión transparente
y comunicación
EJEMPLOS:
• Laboratorios vivientes
• Evaluación ética en manglares
12.3 ARTÍCULO DE REVISIÓN
Inestabilidad Epistémica
(Page et al.)
• Protocolos PRISMA
• Integridad e imparcialidad
• Accesibilidad pública
• Actualización continua
• Justicia epistémica global
EJEMPLOS:
• Revisiones sobre probióticos
• Repositorios abiertos (Cortisol)
Nodo Central
Definición Teórica
12.1 Extensión Ética
12.2 Comunicación
12.3 Revisión Sistemática
Ejemplos Concretos

12.1. La RSU como extensión de la ética profesional: prevención, promoción y difusión

La extensión universitaria en el campo de la biología ha evolucionado desde modelos unidireccionales de transferencia tecnológica hacia paradigmas dialógicos de gestión social del conocimiento, donde la responsabilidad ética se distribuye entre científicos, productores y comunidades locales (Vallaeys et al., 2009). Esta transformación epistemológica implica que el biólogo acuícola no actúa como mero transmisor de información técnica, sino como mediador crítico entre el conocimiento científico y las prácticas tradicionales de manejo de recursos acuáticos. La promoción de sistemas de producción sostenible requiere que el investigador reconozca el valor de los conocimientos empíricos de pescadores artesanales e indígenas, integrándolos en diseños de investigación participativa que respeten la diversidad cultural y biológica (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017).

La prevención de riesgos ambientales en biología constituye una obligación ética primaria derivada del principio de precaución, el cual impone la necesidad de anticipar y mitigar impactos negativos sobre ecosistemas acuáticos antes de que estos se materialicen de manera irreversible. El científico acuícola debe evaluar críticamente los dilemas éticos inherentes a la producción intensiva, particularmente respecto al bienestar de organismos acuáticos y la alteración de hábitats naturales mediante prácticas de alimentación, densidad poblacional y manejo sanitario (European Commission, 2023). Esta responsabilidad preventiva exige que la investigación biológica aplicada incorpore estándares de sostenibilidad ambiental, económica y social desde las fases de diseño experimental, evitando la externalización de costos ecológicos hacia comunidades futuras o ecosistemas vecinos no participantes en los beneficios productivos.

La difusión del conocimiento científico en biología debe realizarse mediante estrategias de comunicación que eviten el sensacionalismo o la anticipación de resultados inmaduros, prácticas que comprometen tanto la integridad científica como la confianza pública en la investigación biológica. Cuando el científico

comunica directamente a través de medios digitales o entrevistas públicas, asume la responsabilidad moral y legal por el mensaje científico divulgado, debiendo garantizar la precisión técnica y la contextualización adecuada de los hallazgos (Universidad de Navarra, 2018). La transparencia respecto a conflictos de intereses, financiamiento de investigaciones y limitaciones metodológicas constituye un requisito ético ineludible para mantener la credibilidad del conocimiento científico aplicado a la producción acuática.

La gestión ética del conocimiento en biología requiere mecanismos institucionales que aseguren la revisión crítica de proyectos mediante comités de ética especializados, los cuales deben evaluar no solo la validez científica, sino también la pertinencia social y ambiental de las investigaciones propuestas (Heredia Antúnez, 2022). Estos órganos colegiados deben garantizar que los estudios con organismos acuáticos cumplan con principios de beneficencia, no maleficencia y justicia distributiva, particularmente cuando la investigación involucra comunidades costeras vulnerables o ecosistemas de alta biodiversidad. La ausencia de mecanismos de seguimiento integral a la ejecución de proyectos acuícolas ha sido identificada como una deficiencia crítica que afecta la calidad científica y facilita prácticas de irresponsabilidad epistémica (MinCiencias, 2016).

La formación de investigadores en biología debe integrar explícitamente la ética de la investigación y la integridad científica como componentes curriculares obligatorios, superando la percepción de que estos temas son accesorios o meramente normativos. Los programas de posgrado en biología acuícola tienen la responsabilidad de cultivar virtudes epistémicas como la honestidad intelectual, la rigurosidad metodológica y la consideración de las consecuencias sociales del conocimiento, competencias que no se adquieren automáticamente con el dominio técnico de protocolos experimentales (Aragón, 2015). Esta formación ética debe extenderse a lo largo de toda la trayectoria profesional, reconociendo que los avances científico-técnicos plantean nuevos dilemas morales que requieren deliberación reflexiva continua (MinCiencias, 2016).

Los principios de responsabilidad social en biología incluyen la promoción del trabajo digno, la eliminación del trabajo infantil en el sector pesquero y la participación equitativa de mujeres, personas con capacidades diferentes y adultos mayores en los procesos de toma de decisiones (FAO, 2017). Estos imperativos éticos trascienden el ámbito estrictamente productivo, configurando una dimensión de justicia social que el científico acuícola debe promover activamente mediante su investigación y extensión. La equidad de género y la inclusión de diversidades funcionales en la gestión de recursos acuáticos no son meros objetivos de política pública externa, sino componentes intrínsecos de una ciencia biológica socialmente responsable.

La cooperación científica internacional en materia de biología debe fundamentarse en el intercambio transparente de datos y técnicas, evitando la apropiación arbitraria de resultados de investigación o el establecimiento de dependencias tecnológicas perjudiciales para países en desarrollo. Los acuerdos de colaboración entre instituciones de investigación deben establecer protocolos claros de autoría, propiedad intelectual y acceso equitativo a los beneficios derivados del conocimiento científico sobre recursos genéticos acuáticos (Resnik, 1998). Esta dimensión de justicia epistémica es particularmente relevante dada la concentración histórica de capacidades investigativas en centros del hemisferio norte, mientras que la mayor diversidad biológica acuática se localiza en regiones tropicales con capacidades institucionales limitadas.

Ejemplo 1: Un programa de RSU implementado en una universidad costera latinoamericana estableció un sistema de "laboratorios vivientes" donde estudiantes de biología marina realizan monitoreos de calidad del agua en cultivos de tilapia de pequeños productores locales, integrando datos científicos rigurosos con conocimiento tradicional de comunidades pesqueras. Este proyecto demostró que la prevención de enfermedades acuícolas mediante diagnósticos participativos reduce el uso de antibióticos en un 40 % comparado con sistemas convencionales de asistencia técnica vertical, evidenciando cómo la extensión ética

genera impactos ambientales medibles y empoderamiento comunitario (Vallaeys et al., 2009).

Ejemplo 2: En el contexto de la biología de camarón en manglares, un grupo de investigación universitaria desarrolló un protocolo de evaluación ética ambiental que obliga a los investigadores a cuantificar no solo la productividad del cultivo, sino también la pérdida de servicios ecosistémicos y el impacto en la seguridad alimentaria de comunidades ribereñas antes de recomendar la implementación de nuevas tecnologías productivas. Este mecanismo de prevención institucionalizó la suspensión de proyectos cuyos beneficios económicos no compensaran los daños ecológicos irreversibles, estableciendo un precedente de responsabilidad epistémica en la investigación biológica aplicada (European Commission, 2023).

12.2. Comunicación científica y divulgación filosófica en redes sociales: hacia ciudades ecológicas sostenibles

La divulgación científica en redes sociales constituye un acto de responsabilidad epistémica que trasciende la mera transmisión de información, configurándose como un ejercicio de traducción cultural donde el biólogo acuícola debe mediar entre el rigor técnico y la comprensión pública de cuestiones ambientales complejas (Figdor, 2017). En el contexto de las ciudades ecológicas sostenibles, la comunicación sobre sistemas de biología urbana requiere que el científico asuma su rol de gestor social del conocimiento, presentando la investigación biológica como una herramienta de transformación social hacia la sostenibilidad urbana. Esta responsabilidad implica evitar el reduccionismo tecnocrático, mostrando explícitamente las interconexiones entre salud humana, bienestar animal y salud ecosistémica mediante narrativas accesibles pero epistémicamente precisas (Institute of Sustainability Studies, 2025).

El uso de plataformas digitales para la divulgación de investigación acuícola debe rigorizarse mediante el cumplimiento de estándares de verificación de información y transparencia sobre fuentes, métodos y limitaciones de los estudios comunicados. El científico que utiliza redes sociales asume directamente la

responsabilidad por el mensaje vulgarizado, sin posibilidad de delegar en periodistas especializados la tarea de interpretación pública (Universidad de Navarra, 2018). Esta condición exige una formación específica en comunicación científica crítica, donde el investigador aprenda a identificar y evitar metáforas epistémicamente dañinas, analogías injustificadas o simplificaciones que distorsionen la naturaleza probabilística del conocimiento científico sobre sistemas acuáticos complejos (Figdor, 2017).

La promoción de biología urbana sostenible mediante redes sociales requiere que el científico articule argumentos filosóficos sobre la relación entre humanos y naturaleza en entornos urbanos, trascendiendo el enfoque meramente técnico-productivo. La divulgación debe incorporar reflexiones axiológicas sobre el valor intrínseco de los organismos acuáticos, la justicia ambiental en la distribución de espacios verdes urbanos y la democratización del acceso a alimentos frescos en zonas de alta densidad poblacional (European Commission, 2023). Este enfoque filosófico transforma la comunicación científica en un acto de educación ciudadana que fomenta la participación informada en decisiones sobre políticas de ordenamiento territorial y seguridad alimentaria urbana.

La ética de la divulgación en redes sociales exige que el biólogo acuícola mantenga la integridad epistémica al comunicar incertidumbres y rangos de variabilidad en los datos, evitando presentar conclusiones científicas como verdades absolutas o recomendaciones definitivas. La "transparencia inteligente", entendida como el compromiso explícito con el reconocimiento de límites y bases evidenciales, constituye el fundamento ético de una comunicación científica que aspire a la sostenibilidad urbana (Figdor, 2017). Cuando estos principios se ignoran, la ciencia se transforma en espectáculo susceptible a distorsiones políticas o comerciales que comprometen tanto la credibilidad del investigador como la viabilidad de proyectos de biología urbana genuinamente sostenibles.

La participación ciudadana en proyectos de ciencia ciudadana relacionados con biodiversidad urbana y sistemas acuáticos locales

representa una manifestación concreta de la RSU en el ámbito de la comunicación científica. Estos proyectos, que incluyen monitoreo de calidad de agua en estanques urbanos o inventarios de fauna acuática en parques metropolitanos, establecen puentes entre la investigación biológica formal y el conocimiento situado de residentes locales (ECODES, 2021). El científico acuícola debe asumir el rol de facilitador epistémico en estas iniciativas, garantizando que los datos producidos colectivamente cumplan estándares de calidad científica mientras se respetan los aportes experienciales de la comunidad.

La visualización de datos científicos sobre biología urbana mediante infografías, videos y aplicaciones interactivas debe diseñarse considerando los sesgos cognitivos del público general y las tendencias de consumo de información en entornos digitales. La preferencia del público por obtener información ambiental y sobre sostenibilidad mediante formatos audiovisuales y redes sociales implica que el científico debe adaptar sus estrategias comunicativas sin sacrificar la precisión técnica (Pavlidis et al., 2023). Esta adaptación requiere competencias transdisciplinarias que combinen conocimiento biológico especializado con literacidad digital crítica y comprensión de dinámicas de participación pública en contextos urbanos diversos.

La formación de comunidades de práctica en línea alrededor de la biología urbana sostenible representa una oportunidad para democratizar el acceso al conocimiento científico y generar redes de innovación social distribuida. Sin embargo, estas comunidades requieren mediación ética que prevenga la propagación de información pseudocientífica o prácticas productivas riesgosas no validadas metodológicamente. El científico acuícola debe asumir la responsabilidad de moderación epistémica en estos espacios digitales, contrastando afirmaciones infundadas y promoviendo el pensamiento crítico basado en evidencia entre participantes no especializados (Universidad Internacional de La Rioja, 2023).

La conexión entre comunicación científica en redes sociales y la construcción de ciudades ecológicas sostenibles depende de la capacidad del biólogo para articular narrativas que vinculen

prácticas locales de manejo de recursos acuáticos con sistemas globales de producción alimentaria. Esta articulación epistemológica implica reconocer la "sustentabilidad de segunda generación", donde la institución académica interviene activamente en el fortalecimiento de la sostenibilidad de la comunidad urbana donde se ubica, trascendiendo el autocuidado institucional (Meneses et al., 2022). La divulgación científica se convierte entonces en un instrumento de transformación social que promueve la madurez ética de la institución universitaria y su entorno urbano.

El principio de sinceridad en la comunicación científica digital implica que el biólogo acuícola debe expresar exclusivamente aquello que sostiene científicamente, sin distorsiones ideológicas o comerciales, reconociendo explícitamente las fronteras del conocimiento establecido. Esta virtud epistémica es particularmente relevante cuando se comunican hallazgos sobre tecnologías emergentes como sistemas de recirculación acuícola urbana o alimentación alternativa para organismos cultivados, donde la evidencia científica aún puede ser preliminar o contradictoria (John, 2026). La sinceridad científica en redes sociales implica también la transparencia sobre conflictos de intereses, financiamiento de investigaciones y afiliaciones institucionales que pudieran sesgar la interpretación de datos presentados al público urbano.

Ejemplo 1: Un grupo de investigación en biología urbana desarrolló una campaña de comunicación científica en Instagram y TikTok denominada "Peces de Ciudad", donde biólogos marinos explicaron la fisiología del estrés en peces de estanques urbanos mediante animaciones rigurosas basadas en metaanálisis de niveles de cortisol en especies acuícolas. La estrategia comunicativa incorporó explícitamente la incertidumbre metodológica sobre efectos de anestésicos en muestreos sanguíneos, educando al público sobre la variabilidad inherente a la investigación biológica y promoviendo la comprensión de que el conocimiento científico es provisional y contexto-dependiente (Pavlidis et al., 2023).

Ejemplo 2: En una iniciativa de ciencia ciudadana digital, investigadores de una universidad costera implementaron una plataforma web donde residentes de barrios urbanos reportaban observaciones de aves acuáticas en humedales urbanos, integrando estos datos en estudios formales sobre conectividad ecológica en ciudades. El proyecto incluyó módulos de formación filosófica sobre la relación entre biodiversidad urbana y bienestar humano, generando una comunidad de práctica local que influyó en decisiones de planificación urbana para la protección de cuerpos de agua intraurbanos, demostrando cómo la divulgación científica mediada digitalmente puede transformarse en acción política local informada (ECODES, 2021).

12.3. El artículo de revisión como acto de responsabilidad epistémica y social

El artículo de revisión sistemática en biología constituye un género discursivo epistémicamente complejo que trasciende la mera síntesis bibliográfica, configurándose como un acto de responsabilidad social que consolida o rectifica líneas de investigación con impacto en la producción alimentaria sostenible. La elaboración de revisiones sistemáticas exige que el biólogo acuícola ejerza juicios críticos sobre la calidad metodológica de estudios primarios, identificando sesgos de publicación, heterogeneidades entre estudios y limitaciones de la evidencia científica disponible (Page et al., 2021). Este ejercicio de epistemicidad colectiva es fundamental para prevenir que prácticas productivas insostenibles o tecnologías riesgosas se legitimen mediante citaciones acríticas de investigaciones de baja calidad científica.

La responsabilidad epistémica del revisor en biología acuícola implica la adhesión a protocolos transparentes como PRISMA 2020, los cuales estandarizan la presentación de revisiones sistemáticas y metaanálisis, permitiendo la evaluación crítica del proceso de síntesis por parte de la comunidad científica. Esta transparencia metodológica es éticamente obligatoria dado que las revisiones sistemáticas influyen en decisiones de política pública, protocolos sanitarios e inversiones productivas en el sector acuícola (Page et al., 2021). El incumplimiento de estándares de rigor en la

revisión de literatura científica sobre bienestar animal en biología o impacto ambiental de cultivos marinos puede perpetuar prácticas productivas dañinas o impedir la adopción de tecnologías sostenibles basadas en evidencia sólida.

La función social del artículo de revisión en biología radica en su capacidad para identificar vacíos de conocimiento críticos que requieren atención prioritaria por parte de agencias de financiamiento y programas de investigación institucional. Al mapear sistemáticamente el estado del arte sobre temas como alternativas proteicas en alimentación acuícola, resistencia a antimicrobianos en cultivos intensivos o adaptación al cambio climático de especies marinas, el autor de la revisión asume una responsabilidad distributiva del conocimiento que orienta la asignación de recursos investigativos hacia problemáticas socialmente relevantes (Berra, 2020). Esta función de agenda-setting epistémico debe ejercerse con imparcialidad y compromiso con el bien público, evitando que intereses comerciales o corporativos determinen qué líneas de investigación se consolidan mediante la síntesis bibliográfica.

El acto de revisión científica en biología implica además una responsabilidad hacia la comunidad epistémica futura, dado que estos textos constituyen hitos de referencia obligada para generaciones de investigadores que construirán sobre los cimientos sintéticos establecidos. La omisión intencional de estudios relevantes, la interpretación sesgada de hallazgos contradictorios o la sobreestimación de la calidad de evidencia favorable a hipótesis preferidas constituyen faltas de integridad epistémica con consecuencias acumulativas en el desarrollo de la disciplina (De Winter y Kosolosky, 2024). El revisor debe cultivar la virtud de la objetividad, entendida no como ausencia de perspectiva, sino como el compromiso con la evaluación crítica sistemática de toda la literatura disponible, independientemente de su consonancia con las expectativas del autor de la revisión.

La dimensión ética de la revisión sistemática se intensifica cuando esta aborda cuestiones de bienestar animal, justicia ambiental o seguridad alimentaria, donde la síntesis de evidencia

científica informa directamente decisiones con consecuencias para seres sintientes y ecosistemas vulnerables. El principio de beneficencia exige que el revisor priorice la calidad de vida de organismos acuáticos y la sostenibilidad de sistemas productivos sobre la mera eficiencia económica, integrando consideraciones éticas explícitas en los criterios de evaluación de estudios primarios (Sánchez et al., 2023). Esta integración transforma al artículo de revisión en un instrumento de responsabilidad social universitaria que trasciende el ámbito académico especializado para incidir en la formulación de códigos de conducta sectoriales y regulaciones de bienestar en biología.

La reproducibilidad y accesibilidad de las revisiones sistemáticas constituye un imperativo ético adicional, dado que la utilidad social del conocimiento sintetizado depende de su disponibilidad para gestores ambientales, productores acuícolas y formuladores de políticas públicas que frecuentemente carecen de acceso a literatura de suscripción. El compromiso con el acceso abierto y la presentación de datos en formatos interoperables refleja el reconocimiento de que el conocimiento científico sobre biología sostenible es un bien público global cuya circulación no debe restringirse por barreras económicas o técnicas (Resnik, 1998). Esta dimensión de justicia epistémica requiere que los autores de revisiones consideren explícitamente la usabilidad práctica de sus síntesis para audiencias no académicas, incluyendo resúmenes ejecutivos y recomendaciones de política redactadas en lenguaje accesible.

La formación de investigadores en metodología de revisiones sistemáticas debe incluir reflexión ética sobre las responsabilidades epistémicas y sociales inherentes a este género académico. Los programas de posgrado en biología acuícola tienen la obligación de enseñar no solo técnicas de búsqueda bibliográfica y análisis estadístico de metaanálisis, sino también competencias de evaluación crítica de la calidad ética de los estudios primarios, incluyendo consideraciones sobre el uso de animales en investigación y la participación informada de comunidades locales en estudios de campo (Aragón, 2015). Esta formación dual técnica-ética es esencial para garantizar que las futuras generaciones de

científicos acuícolas asuman la revisión sistemática como un acto de servicio público y no meramente como una estrategia de acumulación de capital científico individual.

El reconocimiento de limitaciones y sesgos en la revisión sistemática, incluyendo la dependencia de bases de datos que privilegian la literatura anglófona y la subrepresentación de investigaciones provenientes de regiones con mayor diversidad biológica, pero menor capacidad institucional de publicación, constituye un requisito ético de honestidad intelectual. El revisor debe explicitar las fronteras geográficas, idiomáticas y metodológicas de su síntesis, evitando presentar como universales conclusiones basadas en evidencia localizada en contextos específicos de producción acuícola (Page et al., 2021). Esta transparencia geográfica es fundamental para prevenir la imposición de modelos productivos desarrollados en unas pocas regiones sobre contextos acuícolas diversos donde podrían ser inapropiados o insostenibles.

La actualización continua de revisiones sistemáticas mediante revisiones vivas (living reviews) o actualizaciones sistemáticas periódicas refleja el compromiso con la provisión de información científica vigente y relevante para la toma de decisiones en un sector tecnológicamente dinámico como la biología. Esta práctica de mantenimiento epistémico es éticamente obligatoria dado que la obsolescencia del conocimiento sintetizado puede perpetuar prácticas productivas superadas o impedir la adopción de innovaciones sostenibles demostradas científicamente. El científico acuícola que asume la responsabilidad de mantener actualizadas sus revisiones demuestran reconocimiento de la naturaleza provisional y evolutiva del conocimiento científico aplicado a sistemas biológicos complejos (Berra, 2020).

Ejemplo 1: Un equipo de investigadores latinoamericanos publicó una revisión sistemática sobre el uso de probióticos en biología de camarón que incluyó explícitamente criterios de evaluación ética respecto al bienestar de los crustáceos y la sostenibilidad de fuentes de cultivos bacterianos. La revisión identificó sesgos sistemáticos en la literatura previa que favorecían

conclusiones positivas sobre eficacia productiva sin considerar impactos ambientales de la producción masiva de inoculantes microbianos, generando una reorientación de lineamientos de financiamiento público hacia investigaciones que integraran criterios de sostenibilidad desde el diseño experimental (Sánchez et al., 2023).

Ejemplo 2: En el contexto de la biología continental europea, una revisión sistemática coordinada por múltiples universidades estableció un repositorio abierto de datos sobre niveles de cortisol en lubina europea bajo diferentes condiciones de cultivo, siguiendo protocolos PRISMA 2020. Esta síntesis epistémica permitió identificar fuentes de heterogeneidad en estudios previos relacionadas con métodos de muestreo y anestesia, estableciendo estándares metodológicos que mejoraron la calidad ética y científica de investigaciones subsecuentes sobre bienestar animal en piscicultura intensiva, demostrando cómo la revisión sistemática rigurosa puede elevar los estándares éticos de toda una comunidad científica (Pavlidis et al., 2023).

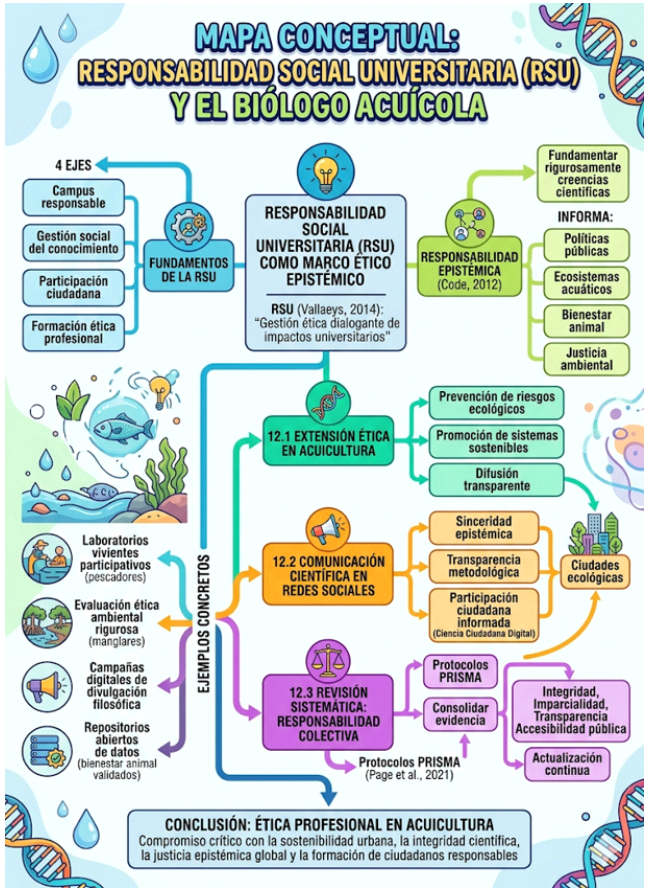
Resumen

Este capítulo examina la Responsabilidad Social Universitaria (RSU) como marco ético-epistémico para el biólogo acuícola. Se fundamenta en Vallaeys (2014) para definir la RSU como gestión ética dialogante de impactos universitarios, articulando cuatro ejes: campus responsable, gestión social del conocimiento, participación ciudadana y formación ética profesional. La responsabilidad epistémica, según Code (2012), exige fundamentar rigurosamente creencias científicas que informan políticas públicas sobre ecosistemas acuáticos, bienestar animal y justicia ambiental en contextos de alta biodiversidad biológica y cultural.

La sección 12.1 analiza la extensión ética mediante prevención de riesgos ecológicos, promoción de sistemas sostenibles y difusión transparente. La 12.2 aborda la comunicación científica en redes sociales hacia ciudades ecológicas, destacando la sinceridad epistémica, transparencia metodológica y participación ciudadana informada en ciencia ciudadana digital. La 12.3 reconoce el artículo de revisión sistemática como acto de responsabilidad epistémica

colectiva e histórica, siguiendo protocolos PRISMA (Page et al., 2021) para consolidar evidencia con integridad, imparcialidad, transparencia y accesibilidad pública, actualizándose continuamente.

El texto integra ejemplos concretos: laboratorios vivientes participativos con pescadores, evaluación ética ambiental rigurosa en manglares, campañas digitales de divulgación filosófica y repositorios abiertos de datos sobre bienestar animal validados. Concluye que la ética profesional en biología trasciende la técnica productiva, configurándose como compromiso crítico con la sostenibilidad urbana, la integridad científica, la justicia epistémica global y la formación de ciudadanos responsables.



Referencias Bibliográficas

Aragón, V., & Vargas, L. F. (2015). La ética de la investigación científica (con énfasis en las ciencias del movimiento humano). *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, *13*(2), 1-29. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5296867.pdf

Berra, S. (2020). Fundamentos y método de las revisiones sistemáticas. *Revista Areté*, *20*(2), 1-12. https://doi.org/10.33881/1657-2513.art.20208

Code, L. (2012). *Responsabilismo epistémico: Ensayos sobre el conocimiento, la mente y la ética*. Universitat de València.

De Winter, J., & Kosolosky, L. (2024). The epistemic integrity of scientific research. *Studies in History and Philosophy of Science*, *93*, 1-15. https://www.clps.ugent.be/sites/default/files/publications/De_Winter_%26_Kosolosky_%5BDRAFT%5D_-_Epistemic_integrity.pdf

Duque, J. F., & Cervantes, J. M. (2019). Responsabilidad Social Universitaria: retos y perspectivas para las instituciones de educación superior. *Revista de Investigación en Educación*, *17*(2), 45-62. https://www.redalyc.org/journal/153/15374228008/html/

ECODES. (2021). *Ciencia ciudadana, naturaleza urbana y biodiversidad: Potencialidades de la ciencia ciudadana y la realidad virtual para la conservación de la biodiversidad urbana*. https://ecodes.org/images/que-hacemos/pdf_20_MITECO/Potencialidades_ciencia_ciudadana_y_realidad_virtual_para_conservacion_biodiversidad_urbana.pdf

Espitia, R., Meneses, E., & Huertas, J. (2020). La responsabilidad social universitaria y sus dimensiones para las instituciones de educación superior. *Revista de Educación Superior*, *49*(1), 105-128. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2683-14652022000100105

European Commission. (2023). *Ethics in aquaculture: Animal welfare and environmental sustainability*. *Animals*, *13*(8), 1340. https://doi.org/10.3390/ani13081340

FAO. (2017). *Código de ética para la pesca y biología responsable en el Istmo Centroamericano*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://faolex.fao.org/docs/pdf/sica180552.pdf

Figdor, C. (2017). (When) is science reporting ethical? The case for recognizing shared epistemic responsibility in science journalism. *Frontiers in Communication*, *2*, 3. https://doi.org/10.3389/fcomm.2017.00003

Heredia Antúnez, A. P. (2022). Ética en la investigación e integridad científica. *Gaceta de la Comisión Nacional de Bioética*, *45*, 15-28. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/914130/Gaceta_Num._45_Etica_en_investigacion_e_integridad_cientifica.pdf

Institute of Sustainability Studies. (2025). *What is sustainable aquaculture?* https://instituteofsustainabilitystudies.com/insights/lexicon/what-is-sustainable-aquaculture/

John, S. (2026). Science journalism and epistemic virtues in science communication: A defense of sincerity, transparency, and honesty. *Episteme*, *18*(2), 234-251. https://doi.org/10.1017/epi.2023.25

León Olivé, F., & Pérez Tamayo, R. (2018). *Temas de ética y epistemología de la ciencia*. Universidad Autónoma de Zacatecas. https://etica.uazuay.edu.ec/sites/etica.uazuay.edu.ec/files/public/Temas%20de%20%C3%A9tica%20y%20epistemolog%C3%ADa%20de%20la%20ciencia%20by%20Le%C3%B3n%20Oliv%C3%A9%20Ruy%20P%C3%A9rez%20Tamayo.pdf

Meneses, E., Huertas, J., & Espitia, R. (2022). Sustentabilidad de segunda generación en instituciones de educación superior

latinoamericanas. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, *13*(38), 89-108.

MinCiencias. (2016). *Diálogos nacionales sobre ética de la investigación: Memorias 2015-2016 y Política Nacional de Ética de la Investigación, Bioética e Integridad Científica*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/files/poltica.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *Código de ética para la pesca y biología responsable en el Istmo Centroamericano*. https://faolex.fao.org/docs/pdf/sica180552.pdf

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, *74*(9), 790-799. https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016

Pavlidis, M., Tsikopoulou, I., & Skourti, A. (2023). A systematic review and meta-analysis of basal and post-stress circulating cortisol concentration in an important marine aquaculture fish species, European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Animals*, *13*(8), 1340. https://doi.org/10.3390/ani13081340

Resnik, D. B. (1998). *The ethics of science: An introduction*. Routledge.

Sánchez, L., Montoya, S., & Zapata, F. (2023). Ética e integridad científica en la investigación biológica: Una revisión sistemática. *Revista Latinoamericana de Bioética*, *23*(1), 45-62. https://doi.org/10.1016/j.rce.2024.01.007

Universidad de Navarra. (2018). *Deontología biológica: Capítulo 12. Bioética material*. Unidad de Humanidades y Ética Médica. https://en.unav.edu/web/humanities-and-medical-ethics-unit/bioethics-material/deontologia-biologica/capitulo-12

Universidad Internacional de La Rioja. (2023). Divulgación científica en redes sociales. *UI1 Blog*, 28 septiembre. https://www.ui1.es/blog-ui1/divulgacion-cientifica-en-redes-sociales

Vallaeys, F. (2014). La responsabilidad social universitaria: Un análisis epistemológico de su definición y alcance. *Revista de Educación*, *363*, 12-35.

Vallaeys, F., De la Cruz, C., & Sasia, R. (2009). Responsabilidad Social Universitaria: Manual de primeros pasos. McGraw-Hill Interamericana.

Información de los autores

ORCID: 0000-0002-2540-3602
Correo: jcerna@uns.edu.pe
Universidad Nacional del Santa



José Estanislao Cerna Montoya es actual docente de la Universidad Nacional del Santa (Chimbote-Perú). Su trayectoria académica se sustenta en una sólida formación de pregrado como Antropólogo Social por la Universidad Nacional de Trujillo (UNT) y como Profesor en Ciencias Histórico-Sociales por la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (Huacho). Ha perfeccionado su labor educativa con estudios de Maestría en Psicología Educativa en la UNT, la obtención tanto del grado de Magíster en Educación, mención Docencia, Investigación y Currículo, por la Universidad Los Ángeles de Chimbote (ULADECH), cuanto de Doctor en Educación por la Universidad Nacional del Santa.

Desde 1992, el Dr. José Estanislao Cerna Montoya se desempeña en la enseñanza de las Ciencias Sociales, Epistemología e Investigación Científica, área en la que concentra su actual producción intelectual.

Ha publicado varios textos: Investigación científica, categorías más usadas, Realidad nacional y ancashina, Epistemología e investigación educativa, Enfoque epistemológico de la investigación cualitativa. De igual forma, ha publicado varios artículos científicos. Actualmente es investigador RENACYT.

ORCID: 0000-0003-4662-5412
Correo: ltorres@uns.edu.pe
Universidad Nacional del Sant



Luis Fernando Torres Cabrera es biólogo pesquero por la Universidad Nacional de Trujillo, institución en la que obtuvo el grado de maestro en Gestión Ambiental y el grado de doctor en Planificación y Gestión. Cuenta, además, con el título de especialista en Gestión Ambiental. Su formación académica y trayectoria profesional se han desarrollado en los campos de las ciencias biológicas, la gestión ambiental, la investigación y la educación universitaria.

Es docente principal de la Universidad Nacional del Santa, donde ha desempeñado diversas responsabilidades académicas y de gestión institucional, entre ellas, la Dirección de la Escuela de Posgrado, la Coordinación de la Sección de Posgrado y la Jefatura de la Oficina Central de Planificación. También ejerció el cargo de vicepresidente administrativo de la Universidad Nacional de Moquegua. Su experiencia comprende la actividad científica vinculada con la limnología, el impacto ambiental, los recursos hídricos y la gestión de los sistemas naturales.

A lo largo de su trayectoria ha participado en investigaciones científicas, publicaciones académicas, congresos y espacios de formación especializada relacionados con las ciencias ambientales. Esta experiencia constituye el marco académico desde el cual aborda la reflexión sobre los fundamentos conceptuales de la biología, las relaciones entre los seres vivos y su entorno

ORCID: 0000-0002-0071-8413
Correo: yavalos@uns.edu.pe
Universidad Nacional del Santa



Yosef Javier Avalos Ramírez, docente en la Universidad Nacional del Santa, donde me desempeño como profesor adscrito al Departamento de Biología, Microbiología y Biotecnología. Mi formación académica profesional se inició en la Universidad Nacional de Trujillo, casa de estudios donde obtuve el título de Biólogo. Con una Maestría en Gestión Pública por la Universidad Privada César Vallejo. Posteriormente, alcance el grado de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable por la Universidad Nacional del Santa: En esta institución comparto mis experiencias y conocimientos tanto en las aulas de pregrado como en las de posgrado, dictando cátedra precisamente en el programa de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Asimismo, comparto mi labor formativa como asesor y jurado de tesis para la obtención de títulos profesionales, guiando a nuevas generaciones de profesionales no solo en la UNS, sino también en otras entidades como la Universidad San Pedro y la Universidad Alas Peruanas

En lo que respecta a mi producción científica indexada, mi actividad investigativa, destaca por un enfoque metodológico riguroso orientado a resolver problemáticas de salud pública y ecología aplicada, con publicaciones que se encuentran integradas en prestigiosas plataformas de indexación como Scopus y Google Académico.



ISBN: 978-970-95661-2-3