

MÁSTER EN ESTRATEGIAS Y TECNOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO

Trabajo Final de Máster

Título:

**DEUDA ECOLÓGICA Y COMERCIO INTERNACIONAL: EVIDENCIAS DEL
INTERCAMBIO AMBIENTALMENTE DESIGUAL ENTRE LA REGIÓN
ANDINA Y EL NORTE GLOBAL**

Autor:

Johonathan Baltazar Salazar Campos

Tutor:

José Antonio Alonso Rodríguez

Madrid, España

2025

Dedicatoria

*Me diste una infancia incandescente y serena,
con días de terruño y otros de apego.
No fueron las indolencias nuestras una ternura,
sino las sutilezas fuertes las que nos unieron.*

*Tus pies y manos ya no guían mi camino,
pero tu voz resuena en mi conciencia férrea.
Tu sombra es faro firme en mi destino,
tu ausencia se ha vuelto mi resistencia.*

*Aunque partiste, no perdí tu abrigo;
lo llevo entre las grietas del silencio y mi eco.
Y cuando dudo, vuelvo al padre amigo
que aún me enseña desde mi pensamiento.*

A la memoria de mi padre, quien sigue guiando cada uno de mis pasos.

Resumen

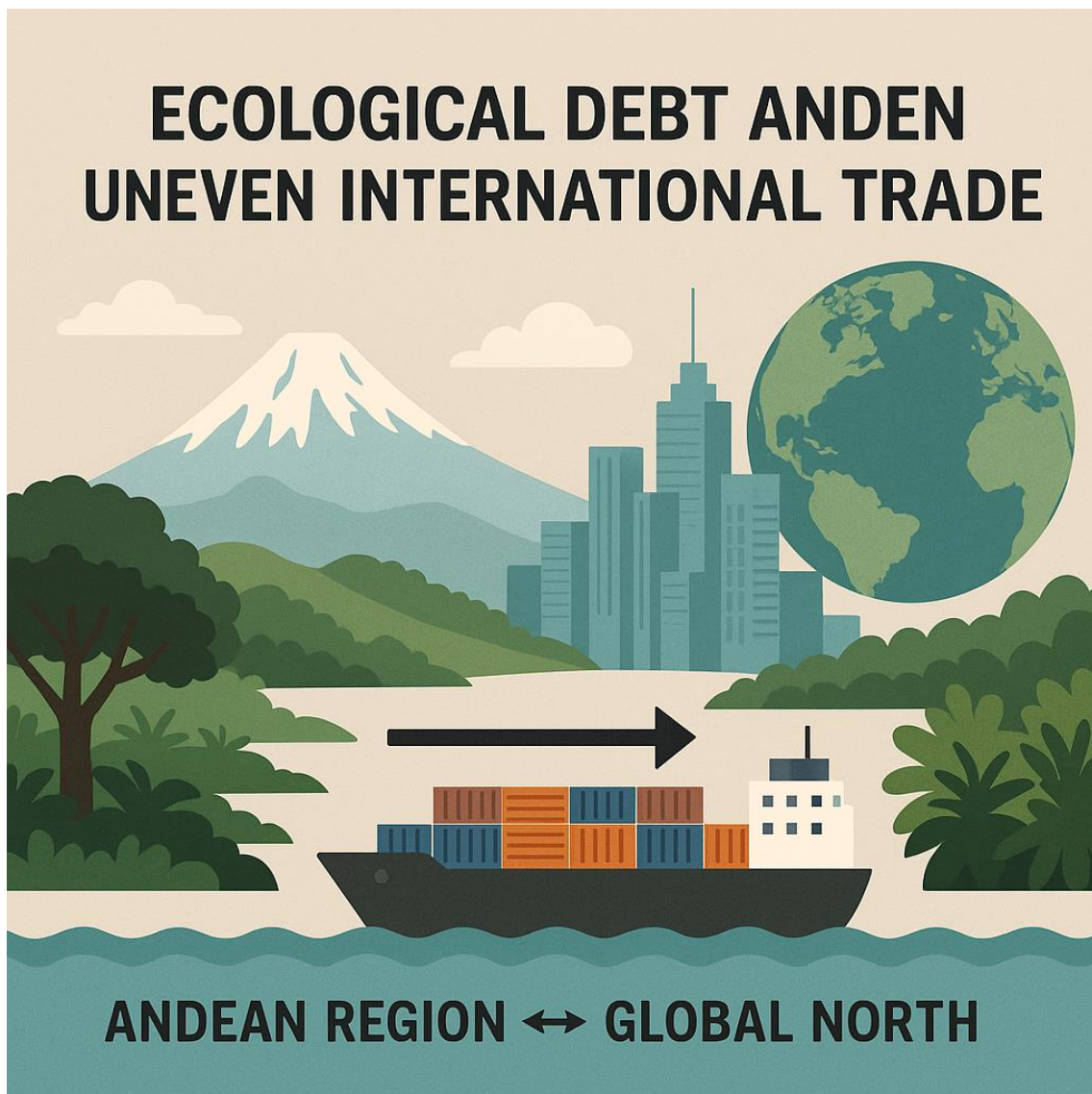
Este estudio analiza los flujos de recursos naturales estratégicos desde los países de la Región Andina hacia el Norte Global, evaluando los impactos ambientales ocultos y proponiendo mecanismos de compensación basados en la noción de deuda ecológica. A partir de un enfoque metodológico mixto, se integran análisis cuantitativos de dependencia comercial, cálculo de déficit ecológico, estimaciones monetizadas de impactos ambientales y evaluación de eficiencia ecológica. Se identifican patrones estructurales de apropiación de biocapacidad por parte de países desarrollados, asociada a la importación intensiva de bienes con alta carga ecológica, sin mecanismos proporcionales de retribución ambiental. Los hallazgos revelan que esta apropiación contribuye al sostenimiento de altos niveles de bienestar en los países importadores, evidenciando relaciones de intercambio ecológicamente desigual. El estudio propone un marco de compensación estructurada a partir de tres mecanismos: pagos por servicios ecosistémicos, instrumentos de mercado y certificaciones ambientales con criterios ecológicos. Asimismo, se plantea un Índice de Compensación Ambiental Sostenible y Solidaria (ICASS) como herramienta de implementación progresiva y adaptable. Se discute la viabilidad institucional, técnica y política de este enfoque, considerando los desafíos de gobernanza ambiental internacional. La investigación contribuye a la literatura sobre justicia ambiental y economía ecológica aplicada, proporcionando evidencia empírica para el diseño de políticas redistributivas que reconozcan los subsidios ecológicos invisibilizados en el comercio internacional. El estudio enfatiza la necesidad de transitar hacia esquemas de corresponsabilidad global en el uso de la naturaleza, especialmente en contextos de crisis ecosistémica y desigualdad estructural.

Palabras clave: Comercio ecológico desigual, déficit ecológico regional, deuda ambiental monetizada, bienestar importado ecológico, compensación ambiental estructural.

Abstract

This study examines the flows of strategic natural resources from Andean countries to the Global North, assessing hidden environmental costs and proposing compensation mechanisms based on the concept of ecological debt. Through a mixed-method approach, it integrates quantitative analyses of trade dependency, ecological deficit accounting, monetised environmental impact estimations, and assessments of ecological efficiency. The findings reveal systemic patterns of biocapacity appropriation by developed countries, linked to the intensive importation of ecologically burdensome goods without proportional environmental restitution mechanisms. This appropriation sustains high levels of well-being in importing countries and reflects ecologically unequal exchange dynamics. A structured compensation framework is proposed, combining payments for ecosystem services, environmental market instruments, and environmental certifications with ecological criteria. Additionally, the study introduces the Sustainable and Solidarity-Based Environmental Compensation Index (ICASS) as a progressive and adaptable implementation tool. The institutional, technical, and political feasibility of this proposal is critically assessed in light of global environmental governance challenges. The research contributes to the field of ecological economics and environmental justice by providing empirical evidence for redistributive policy design that recognises the concealed ecological subsidies embedded in international trade. It underscores the urgent need to transition towards frameworks of shared global responsibility in the appropriation of nature, particularly within contexts of ecosystem degradation and structural inequality.

Keywords: Unequal ecological trade, regional ecological deficit, monetised environmental debt, imported ecological welfare, structural environmental compensation.



Índice

Resumen	3
Abstrac	4
Resumen Gráfico	5
CAPÍTULO I. INTRODUCCION	8
1.1. Contexto y justificación.....	8
1.2. Planteamiento del problema.....	9
1.3. Objetivos.....	10
1.4. Preguntas de investigación.....	10
1.5. Hipótesis.....	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes.....	12
2.2. Bases teórico-científicas.....	14
2.3. Marco Conceptual.....	16
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Mapeo de flujos comerciales y dependencia ecológica andina.....	19
3.2. Evaluación del balance ecológico y su relación con el desarrollo humano	20
3.3. Estimación monetaria de deuda ecológica y eficiencia del comercio.....	22
3.4. Análisis y presión ecológica en países importadores.....	25
3.5. Análisis crítico de mecanismos internacionales de compensación.....	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Estructura exportadora y externalización de servicios ecosistémicos.....	30
4.2. Desajuste entre biocapacidad y desarrollo humano.....	34
4.3. Costos ocultos del comercio y subsidios ecológicos netos.....	40
4.4. Inequidad ecológica y eficiencia de recursos importados.....	44
CAPÍTULO V. MARCO DE ANÁLISIS ESTRATÉGICO CONCLUYENTE	49
5.1. Revisión crítica de mecanismos vigentes de compensación.....	49
5.2. Propuesta estructurada de compensación ecológica andina.....	51
5.3. Viabilidad política, técnica y reflexión profesional.....	54
LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES	56
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS	59
ANEXO 1	64

Índice de Figuras

Figura 1. Porcentaje del total exportado representado por los cinco principales productos naturales (2023).....	30
Figura 2. Captura promedio anual de carbono en países andinos (tCO ₂ eq/ha/año)	32
Figura 3. Índice de Intensidad Económica (IIE) de los países andinos (2023).....	33
Figura 4. Balance ecológico nacional de países andinos: comparación de biocapacidad y huella ecológica per cápita (2024).....	34
Figura 5. Trayectorias normalizadas de PIB per cápita, huella ecológica, IDH y pobreza multidimensional en países andinos (2000–2022).....	37
Figura 6. Índices compuestos de sostenibilidad interna y dependencia de biocapacidad externa (2024).....	40
Figura 7. Relación entre ingreso per cápita, huella y eficiencia ecológicas en países importadores de recursos andinos (2024).....	45

Índice de Tablas

Tabla 1. Concentración sectorial de exportaciones de bienes naturales por país en la Región Andina (2023).....	30
Tabla 2. Regresiones múltiples del IDH frente a variables ecológicas y socioeconómicas en países andinos (2000–2022).....	39
Tabla 3. Estimación de la deuda ecológica asociada a exportaciones principales de recursos andinos (2023).....	41
Tabla 4. Eficiencia ecológica de las exportaciones andinas (2023).....	43
Tabla 5. Análisis de sostenibilidad ecológica interna y dependencia externa de biocapacidad en países importadores (2025).....	46
Tabla 6. Resultados de regresión múltiple por país: relación entre huella ecológica y desarrollo humano (2000–2022).....	48

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y justificación

La actual crisis ecológica global ha puesto de relieve las limitaciones estructurales del modelo de desarrollo dominante, basado en el crecimiento económico intensivo en recursos y dependiente de una lógica de apropiación asimétrica del capital natural. Este patrón ha acelerado la transgresión de los límites planetarios, generando una distribución desigual de los beneficios y los costos ambientales. En este escenario, la Región Andina (RA) constituye un caso representativo: pese a su abundancia en minerales estratégicos, biodiversidad y servicios ecosistémicos clave, sus trayectorias de desarrollo humano se mantienen estancadas, y su biocapacidad está en retroceso. La paradoja radica en que, aunque la región abastece de insumos críticos a la economía global, los beneficios del comercio no se traducen en bienestar local ni sostenibilidad ambiental (O'Neill et al., 2018; Dorninger et al., 2021).

Desde marcos críticos como la teoría del intercambio ecológicamente desigual, el metabolismo social y la deuda ecológica, se ha documentado cómo las economías del Norte Global han sostenido su bienestar mediante la apropiación sistemática de recursos y servicios ecosistémicos del Sur, transfiriendo impactos sin mecanismos efectivos de compensación (Wiedmann & Lenzen, 2018; Hickel et al., 2022). Este desequilibrio ecológico estructural no solo perpetúa dinámicas históricas de subordinación, sino que limita las capacidades de resiliencia socioambiental en los países exportadores y compromete la legitimidad de la sostenibilidad global.

En este contexto, el presente trabajo analiza empíricamente los flujos de recursos naturales y servicios ecosistémicos desde la RA hacia el Norte Global. A través de indicadores cuantitativos, se estiman los déficits y la deuda ecológica acumulada, y se examina su vínculo con el bienestar humano regional y externo. Asimismo, se evalúa el desempeño de los mecanismos actuales de compensación ambiental.

El objetivo último es contribuir con evidencias analíticas al debate sobre una gobernanza ecológica internacional más justa, que incorpore principios de equidad redistributiva, corresponsabilidad ambiental y sostenibilidad estructural.

1.2. Planteamiento del problema

Los países de la Región Andina enfrentan una contradicción estructural: pese a su abundancia en capital natural —minerales estratégicos, servicios ecosistémicos globales y alta biodiversidad— no logran traducir esta riqueza en mejoras sostenidas del bienestar humano. Esta paradoja responde a un patrón extractivo-exportador que privilegia la explotación intensiva de recursos con bajo valor agregado, escasa reinversión productiva y una débil internalización de los pasivos ecológicos. Aunque dicho modelo ha generado ingresos relevantes en el corto plazo, ha intensificado la presión sobre los ecosistemas locales, erosionado capacidades adaptativas y disminuido la biocapacidad regional, dando lugar a déficits ecológicos acumulativos y dependencia estructural (Svampa, 2019; Rivera-Basques et al., 2021).

En contraposición, las economías del Norte Global han mantenido elevados niveles de bienestar material gracias a una apropiación sistemática del capital natural externo. Esta dinámica ha facilitado la transferencia neta de materiales, energía y espacio ecológico desde el Sur Global, sin asumir los costos reales de esa presión ambiental. En la práctica, los impactos ecológicos han sido externalizados a los territorios proveedores, consolidando un sistema de intercambio ecológicamente desigual que concentra beneficios en los países consumidores mientras desplaza los costos hacia los países exportadores (Milanovic, 2019).

La ausencia de mecanismos eficaces para medir, reconocer y compensar esta deuda ecológica perpetúa un modelo de desarrollo asimétrico, ambientalmente injusto y socialmente insostenible. Investigaciones recientes advierten que sin una institucionalización clara de instrumentos compensatorios, la brecha ecológica global seguirá profundizándose (Bruckner et al., 2023). Esta omisión afecta tanto la sostenibilidad de los ecosistemas del Sur como la legitimidad del comercio internacional.

En este escenario, el problema no reside únicamente en la explotación de recursos, sino en la arquitectura político-económica que invisibiliza sus impactos reales. Reconocer la deuda ecológica acumulada y avanzar hacia mecanismos de compensación justa es condición indispensable para una transición global basada en equidad, corresponsabilidad y sostenibilidad estructural.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Analizar cómo los flujos de recursos naturales y servicios ecosistémicos desde la Región Andina hacia el Norte Global configuran relaciones de intercambio ecológicamente desigual, generando déficit y deuda ecológica, afectando el bienestar humano en ambas regiones y evaluando mecanismos de compensación ambiental orientados a la equidad ecológica.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar los principales flujos de exportación de recursos naturales y servicios ecosistémicos desde la Región Andina y su relación con la estructura económica-ecológica regional.
2. Evaluar el déficit ecológico en los países andinos y su relación con indicadores de bienestar humano, como el IDH y otras métricas de calidad de vida.
3. Cuantificar la deuda ecológica acumulada y la eficiencia ecológica del comercio exterior de la Región Andina.
4. Analizar cómo el bienestar de los países importadores se sostiene mediante huellas ecológicas elevadas y dependencia de biocapacidad externa.
5. Evaluar la suficiencia de los mecanismos internacionales de compensación ambiental y proponer alternativas basadas en justicia ecológica.

1.4. Preguntas de investigación

1. ¿Qué recursos naturales y servicios ecosistémicos exporta principalmente cada país andino y cómo se relacionan con su modelo de inserción económica?
2. ¿Existe una relación significativa entre la pérdida de biocapacidad y el deterioro del bienestar humano en los países andinos?
3. ¿Cuál es el valor estimado de la deuda ecológica generada por las exportaciones andinas y qué magnitud de subsidio ambiental implica?
4. ¿En qué medida el bienestar de los países desarrollados se sostiene por el consumo de recursos andinos y la apropiación de biocapacidad externa?
5. ¿Son adecuados los mecanismos actuales de compensación ambiental para corregir la inequidad ecológica derivada del comercio internacional?

1.5. Hipótesis

Hipótesis principal:

La exportación intensiva de recursos naturales y servicios ecosistémicos desde la Región Andina al Norte Global contribuye al déficit y la deuda ecológica regional, mientras el bienestar en los países importadores se sostiene mediante una apropiación desigual de biocapacidad, no corregida por los actuales mecanismos internacionales de compensación.

Hipótesis específicas:

1. Una mayor intensidad exportadora de bienes naturales está asociada con una mayor dependencia económica y ecológica en los países andinos.
2. La disminución de la biocapacidad se asocia a trayectorias de desarrollo humano menos sostenibles, con patrones variables entre países andinos.
3. La deuda ecológica derivada de las exportaciones andinas supera el valor económico recibido, lo que evidencia un subsidio ambiental neto hacia los países importadores.
4. El bienestar económico de los países importadores se sostiene mediante patrones de consumo que intensifican su huella ecológica y dependen de biocapacidad externa.
5. Los mecanismos actuales de compensación ambiental son insuficientes para internalizar la deuda ecológica, lo que exige esquemas redistributivos basados en justicia ecológica y corresponsabilidad.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Investigación

El estudio del valor de los ecosistemas y de las desigualdades estructurales en su aprovechamiento ha sido una preocupación creciente en la literatura ambiental crítica. Una de las contribuciones fundacionales en esta línea fue la de Sukhdev et al. (2014), quienes estimaron que el valor económico de los servicios ecosistémicos superaba el PIB mundial, alertando sobre la invisibilización sistemática de funciones vitales como la regulación climática o la purificación del aire en los sistemas de mercado. Su propuesta de reconocer a la naturaleza como activo económico estratégico marcó un punto de inflexión, permitiendo conceptualizar la deuda ecológica como una externalidad estructural y no meramente como una falla corregible del mercado. Esta revalorización del capital natural no solo tiene implicancias técnicas, sino profundas consecuencias ético-políticas: ¿puede realmente sostenerse un modelo económico que se niega a contabilizar la base misma de su reproducción?

Esta inquietud se profundiza al considerar el marco de los límites planetarios desarrollado por Richardson et al. (2023), quienes identificaron umbrales biofísicos clave como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, señalando que varios de ellos ya han sido transgredidos. Su aporte es esencial para repensar el concepto de desarrollo, pues evidencia que la actividad económica global se ha desplazado fuera del “espacio seguro para la humanidad”, comprometiendo la resiliencia ecosistémica y exacerbando la inequidad entre quienes emiten y quienes sufren las consecuencias. A la luz de este marco, resulta ineludible interrogar los modos en que el crecimiento económico en el Norte Global se ha sostenido sobre una apropiación silenciosa pero sistemática del espacio ecológico global, especialmente el del Sur.

En esta línea crítica, la obra de Martinez-Alier et al. (2002) y Temper et al. (2018) y documenta cómo el metabolismo socioeconómico global, es decir, el flujo de materiales y energía que sustenta las sociedades está íntimamente ligado a conflictos ecológicos en el Sur Global, donde comunidades locales resisten a la expansión del extractivismo y la mercantilización de la naturaleza. Su mapeo de resistencias visibiliza la relación entre deuda ecológica, justicia ambiental y formas de violencia estructural que perpetúan dinámicas coloniales. Este enfoque interpela directamente la narrativa hegemónica del

desarrollo sostenible como un proceso neutral o consensuado. Personalmente, considero que este tipo de conflictos no son eventos marginales sino síntomas estructurales de una economía-mundo insostenible, que reproduce su centro mediante la desposesión de su periferia ecológica.

Walker et al., (2024) avanzan en la cuantificación de esta desposesión ambiental, mostrando con datos empíricos cómo los países del Norte Global externalizan su huella ecológica transfiriendo pasivos a regiones proveedoras. Este proceso —que intensifica la llamada pobreza ecológica— pone en evidencia una dimensión material de la desigualdad que rara vez es abordada en las políticas convencionales de desarrollo. La noción de deuda ecológica que estos autores impulsan como base de mecanismos compensatorios internacionales representa, en mi opinión, no solo una medida correctiva sino un imperativo ético: reconocer que el bienestar de unos ha sido, históricamente, subsidiado por el deterioro de otros.

Dorninger et al. (2021) profundizan en esta línea al cuantificar el intercambio ecológicamente desigual, mostrando que América Latina, África y Asia exportan más recursos, energía y tierra virtual de los que importan, reproduciendo una lógica de acumulación que descansa sobre la apropiación de biocapacidad ajena. El rigor metodológico de este estudio permite respaldar con evidencia empírica lo que muchas comunidades han denunciado desde hace décadas: que el comercio internacional no es un campo neutral, sino una estructura de poder que distribuye beneficios e impactos de forma sistemáticamente injusta. Para este trabajo, sus hallazgos ofrecen un soporte clave al demostrar que el déficit ecológico de la Región Andina no es una anomalía local, sino parte de una tendencia estructural global.

Finalmente, Hickel et al. (2022) estiman que el Norte Global acumuló entre 1990 y 2015 más de 10 billones de dólares en “riqueza ecológica” extraída del Sur Global. Esta transferencia neta de valor ecológico desafía de manera contundente los postulados del comercio internacional como motor del desarrollo y refuerza la urgencia de mecanismos de compensación redistributiva. En mi opinión, incorporar esta narrativa crítica no solo enriquece el marco analítico de este trabajo, sino que también reorienta su sentido político: no se trata simplemente de medir impactos, sino de cuestionar las bases mismas de la economía global y proponer una transición que repare, redistribuya y revalorice el papel de los países proveedores de capital natural.

2.2. Bases teóricas científicas

El sustento teórico de este trabajo se ancla en enfoques críticos y sistémicos que permiten comprender la sostenibilidad no como un objetivo técnico, sino como un proceso profundamente político, determinado por estructuras globales de poder y apropiación. El concepto de capital natural ha sido central en este debate, entendido como el conjunto de activos ecológicos indispensables para la vida humana. Su valoración económica —a través de los servicios ecosistémicos que ofrece, como la regulación climática o la polinización— ha permitido visibilizar su contribución al bienestar humano y al desarrollo sostenible, facilitando su integración en políticas públicas (Pascual et al., 2023). Sin embargo, esta valoración debe abordarse con cautela crítica: ¿puede reducirse el valor de la naturaleza a una métrica económica sin caer en la lógica que precisamente ha conducido a su sobreexplotación? Mi postura se alinea con una visión que reconoce la utilidad instrumental de estos enfoques, pero exige ir más allá del utilitarismo para recuperar también el valor intrínseco y relacional de los ecosistemas.

De manera complementaria, los conceptos de huella ecológica y biocapacidad permiten evaluar la presión humana sobre los sistemas naturales y la capacidad de estos para regenerarse. Cuando la demanda ecológica supera la oferta biofísica, se configura un déficit ecológico que compromete la sostenibilidad a largo plazo. Estas métricas son fundamentales para cuantificar los límites biofísicos del desarrollo y mostrar que, pese a las diferencias discursivas, el crecimiento económico actual sigue siendo estructuralmente insostenible en muchas regiones. Herramientas como las desarrolladas por el Global Footprint Network permiten monitorear estas tendencias y ofrecen una base sólida para repensar el bienestar más allá del PIB (O'Neill et al., 2018). En este sentido, considero que estas métricas no solo son instrumentos técnicos, sino herramientas críticas para desnaturalizar las asimetrías ambientales globales.

La noción de deuda ecológica emerge precisamente desde esta mirada estructural. Se refiere a los pasivos ambientales acumulados por el Norte Global a costa de la sobreexplotación histórica del capital natural del Sur Global. En paralelo, el concepto de pobreza ecológica describe la privación del acceso justo y sostenible a los servicios ecosistémicos por parte de comunidades locales, muchas veces en territorios ricos en biodiversidad, pero empobrecidos por modelos extractivistas impuestos (Martínez-Alier, 2002; Warlenius, 2018). Esta doble condición —deudor ecológico externo y empobrecido

ecológico interno— constituye una trampa estructural que limita las posibilidades reales de desarrollo sostenible. A mi juicio, reconocer esta deuda es un paso indispensable para reformular las relaciones económicas internacionales desde un enfoque de justicia reparadora y corresponsabilidad ambiental.

En este marco, la justicia ambiental y la equidad ecológica ofrecen principios normativos clave. La primera exige que los costos y beneficios del uso de la naturaleza se distribuyan de manera justa, y que las comunidades afectadas participen activamente en la toma de decisiones. La segunda busca corregir las desigualdades estructurales en el acceso, control y gestión de los recursos, proponiendo una redistribución efectiva del poder ecológico. En regiones como la Andina, donde los conflictos socioambientales son cada vez más intensos, estos marcos no son opcionales, sino condiciones necesarias para cualquier transición ecológica genuina (Temper et al., 2018; Sultana, 2022). Personalmente, considero que sin justicia no hay sostenibilidad: cualquier política ambiental que ignore las asimetrías históricas y territoriales estará condenada a reproducir la exclusión que dice combatir.

Las herramientas de análisis de flujos ecológicos —tales como los balances materiales, las redes de comercio y el análisis de huella— permiten operacionalizar estas desigualdades y visibilizar los patrones de apropiación ambiental entre regiones. Su valor reside en su capacidad para traducir en datos concretos lo que muchas veces permanece como intuición política o evidencia anecdótica. Estudios como los de Haberl et al. (2020) y Sovacool et al. (2021) han demostrado que estas herramientas no solo diagnostican, sino que también fundamentan propuestas de mecanismos de compensación, tan urgentes como aún ausentes en la arquitectura ambiental internacional.

En este contexto, las críticas al extractivismo adquieren una fuerza renovada. Más que un modelo productivo, el extractivismo constituye una forma de organización territorial del poder que combina acumulación externa, deterioro ambiental y dependencia económica. Los enfoques post-extractivistas —construidos desde América Latina— proponen superar esta lógica a través de una transición ecológica basada en participación comunitaria, saberes locales y justicia territorial (Bebbington et al., 2018; Gudynas, 2020). Considero que estas visiones son fundamentales no solo por lo que rechazan, sino por lo que afirman: una alternativa al desarrollo que no sacrifica la naturaleza ni a las comunidades en nombre del progreso.

Para finalizar, la teoría del intercambio ecológicamente desigual (IEU) ofrece el marco estructural que articula todas estas dimensiones. Esta teoría sostiene que las relaciones comerciales globales están diseñadas para beneficiar al Norte Global mediante la apropiación sistemática de recursos, energía y capacidad de carga ambiental del Sur (Hornborg, 2009; Hickel et al., 2022). Esta dinámica no es accidental, sino constitutiva del sistema económico internacional. En mi análisis, el IEU permite comprender que el déficit ecológico de la Región Andina no es un fenómeno local, sino una expresión concreta de una arquitectura global de desposesión. Por ello, este trabajo no se limita a describir flujos o impactos, sino que busca contribuir a una relectura crítica de los fundamentos mismos del desarrollo desde una perspectiva de justicia ecológica estructural.

2.3. Marco conceptual

La comprensión de las dinámicas de intercambio ecológico desigual entre la Región Andina y los países del Norte Global exige la articulación de un conjunto de conceptos interdependientes que permiten integrar lo biofísico, lo económico y lo político desde una perspectiva crítica. Este marco no se limita a definiciones operativas, sino que construye una gramática teórica orientada a diagnosticar, cuantificar y reorientar las relaciones internacionales de uso del capital natural.

En el núcleo de esta arquitectura conceptual se encuentra el **capital natural**, entendido como el conjunto de bienes y funciones ecológicas que sostienen la vida y posibilitan la reproducción de las economías humanas. Su valoración económica —como lo han propuesto Costanza et al. (2017) y Díaz et al. (2019)— permite visibilizar su aporte al bienestar y a la sostenibilidad, pero también evidencia una paradoja central: mientras más se reconoce su valor, más se expone al riesgo de ser tratado como mercancía. En este trabajo, adopto una postura que combina el reconocimiento instrumental del capital natural en la toma de decisiones públicas con una crítica al reduccionismo economicista que ha facilitado su sobreexplotación histórica.

Derivado del capital natural, los **servicios ecosistémicos** representan el vínculo tangible entre los ecosistemas y el bienestar humano. Su clasificación en servicios de provisión, regulación, soporte y culturales ha sido útil para integrar la naturaleza en políticas públicas, pero ha sido también objeto de críticas por invisibilizar sus dimensiones

relacionales, simbólicas y territoriales (Díaz et al., 2019; Pascual et al., 2017). En el contexto andino, estos servicios son mucho más que funciones ecológicas: constituyen la base de la identidad territorial y de la soberanía cultural. Este trabajo asume esa complejidad, especialmente al analizar cómo la degradación ambiental no es solo pérdida de servicios, sino de condiciones de vida digna.

Dos conceptos funcionales permiten cuantificar la sostenibilidad de estos procesos: la **biocapacidad**, o capacidad regenerativa de los ecosistemas, y la **huella ecológica**, que mide la demanda humana sobre dichos servicios. La relación entre ambas define el **déficit ecológico**, una métrica clave que revela el carácter insostenible de muchos modelos de desarrollo (Global Footprint Network, 2025). En regiones exportadoras como la andina, este déficit no es necesariamente producto del consumo interno, sino de la exportación neta de biocapacidad. Esta observación será central en el análisis posterior, donde se argumenta que los saldos comerciales deben reequilibrarse no solo en términos monetarios, sino ecológicos.

En este marco, el concepto de **apropiación ecológica** adquiere relevancia estructural. Hace referencia a la toma de espacio ecológico —material, energético y funcional— más allá de los límites territoriales propios, configurando un patrón de dependencia del capital natural ajeno. Esta apropiación está mediada por lo que se conoce como **metabolismo social**: el flujo de energía y materiales que permite la existencia de las sociedades industriales (Fischer-Kowalski & Haberl, 2015). En este trabajo, la apropiación ecológica será abordada como el trasfondo estructural del comercio internacional, visibilizando la dimensión territorial del metabolismo globalizado.

Estas transferencias ecológicas asimétricas constituyen la base empírica y teórica de la **deuda ecológica**, entendida como la acumulación de impactos ambientales no compensados por parte del Norte Global hacia el Sur Global. Este concepto articula múltiples dimensiones —históricas, biofísicas y éticas— y plantea un imperativo redistributivo: no se puede hablar de desarrollo sostenible sin mecanismos de reparación ambiental y equidad internacional (Wiedmann & Lenzen, 2018). Este trabajo adopta esta noción no solo como un indicador técnico, sino como fundamento político de los mecanismos de compensación analizados en el capítulo final.

A nivel microterritorial, estas dinámicas globales se traducen en situaciones concretas de

pobreza ecológica, definida como la privación de acceso equitativo y seguro a los servicios ecosistémicos necesarios para una vida digna. Esta condición se agudiza en comunidades que, paradójicamente, habitan territorios ricos en biodiversidad pero empobrecidos por la explotación externa (Temper, 2015). En este estudio, la pobreza ecológica se analiza como resultado estructural del modelo extractivo-exportador, no como carencia endógena o fallo institucional aislado.

Frente a este escenario, la **equidad ambiental** se plantea como principio normativo y horizonte político. Implica corregir la distribución desigual de beneficios y cargas ambientales, pero también asegurar que las comunidades tengan poder efectivo en la gestión de sus territorios y recursos (Schlosberg & Collins, 2014; Walker et al., 2024). No es posible alcanzar sostenibilidad si esta no es, al mismo tiempo, una sostenibilidad justa. Esta noción orienta las propuestas de compensación discutidas en este trabajo, entendidas como una forma de restitución ecológica.

Para finalizar, esta gama conceptual se inscribe en la **teoría del intercambio ecológicamente desigual**, que sostiene que el comercio internacional reproduce asimetrías de poder mediante flujos sistemáticos de recursos y pasivos ambientales desde el Sur hacia el Norte (Hornborg, 2009; Svampa, 2019). Esta teoría no solo permite explicar las desigualdades ecológicas globales, sino también fundamentar, con evidencia y legitimidad, la necesidad de una gobernanza internacional basada en corresponsabilidad, límites biofísicos y justicia redistributiva.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Mapeo de flujos comerciales y dependencia ecológica andina

3.1.1. Mapeo de flujos de dependencia comerciales

Para caracterizar la estructura exportadora de los países de la Región Andina (RA), se identificaron los cinco principales productos de exportación por país correspondientes al año 2023, utilizando el módulo de treemaps del *Atlas of Economic Complexity* (Harvard Growth Lab, 2025). El criterio de selección se centró en bienes provenientes de sectores extractivos agrícolas, mineros y energéticos, como aproximación empírica a la especialización en bienes basados en capital natural.

Esta identificación permite una lectura preliminar del grado de concentración exportadora y de dependencia estructural de recursos naturales, con implicancias tanto económicas como ecológicas. La información obtenida constituye una base descriptiva para el análisis de la exposición de cada país a dinámicas de intercambio ecológicamente desigual.

3.1.2. Estimación de la provisión ecosistémica de captura de carbono

Como parte complementaria del análisis de los flujos de capital natural, se estimó la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con la regulación climática, específicamente la captura de carbono realizada por ecosistemas forestales en los países de la RA.

El procedimiento metodológico seguido fue el siguiente:

1° Conversión de biomasa a carbono:

$$\text{Carbono (tC/ha)} = \text{Biomasa (t/ha)} \times 0.5$$

Nota: La fracción de 0,5 corresponde al contenido promedio de carbono en biomasa seca, conforme a las Directrices del IPCC, (2006, 2019).

2° Conversión de carbono a equivalentes de dióxido de carbono:

$$\text{CO}_{2\text{eq}} \text{ (t/ha)} = \text{Carbono (tC/ha)} \times 3.67$$

Nota: La constante 3.67 resulta de la relación entre las masas moleculares de CO₂ y carbono: 44/12).

Los valores de biomasa se obtuvieron de estimaciones regionales publicadas por la FAO (2020), complementadas con factores de conversión estandarizados por el IPCC (2019). Esta aproximación cuantifica un servicio ecosistémico clave que será considerado en los análisis de resultados como indicador de provisión ambiental indirecta y de contribución climática neta de la RA.

3.1.3. Cálculo del Índice de Intensidad Económica (IIE)

Con el propósito de evaluar el grado de dependencia económica de los países de la Región Andina respecto al comercio internacional de bienes basados en capital natural, se estimó el Índice de Intensidad Económica (IIE). Este indicador refleja la proporción que representan las exportaciones extractivas dentro del producto económico total, proporcionando una medida aproximada de especialización en recursos primarios y exposición a la volatilidad del mercado global de materias primas, mediante la fórmula:

$$IIE = \frac{\text{Valor total de exportaciones de los cinco principales productos de capital natural}}{\text{Producto Interno Bruto (PIB)}}$$

donde:

- El numerador corresponde a la suma del valor FOB anual correspondiente a los cinco productos de capital natural seleccionados en cada país, según lo determinado en el apartado 3.1.1.
- El denominador corresponde al Producto Interno Bruto (PIB) anual, expresado en dólares estadounidenses corrientes, según datos del Banco Mundial (2025).

Este índice se utiliza como variable descriptiva clave para identificar patrones de alta especialización extractiva, y como proxy de dependencia estructural dentro del comercio exterior.

3.2. Evaluación del balance ecológico y su relación con el desarrollo humano

3.2.1. Cálculo del déficit ecológico y vinculación con el bienestar

Se calculó el balance ecológico nacional para el año 2023 como aproximación al estado de sostenibilidad de cada país andino. Este balance se definió como la diferencia entre la biocapacidad disponible y la huella ecológica de consumo, ambas expresadas en hectáreas

globales per cápita (gha/hab), utilizando datos de la Global Footprint Network (2025).

La clasificación de los países se realizó conforme a tres categorías:

- Alta reserva ecológica (saldo positivo elevado)
- Reserva ecológica moderada (saldo positivo marginal)
- Déficit ecológico (saldo negativo)

La representación visual de estos saldos se elaboró mediante gráficos cromáticos diferenciados, facilitando su interpretación como indicadores comparados de resiliencia ecológica.

3.2.2. Análisis de trayectorias temporales de sostenibilidad y bienestar

Para analizar la dinámica histórica entre sostenibilidad ecológica y progreso social, se recopilaron series temporales (2000–2022) de los siguientes indicadores: PIB per cápita (USD constantes), huella ecológica per cápita (gha), Índice de Desarrollo Humano (IDH) y tasa de pobreza multidimensional. Las fuentes empleadas incluyen el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Global Footprint Network.

Los datos fueron normalizados mediante escalado min-máx (0–1), permitiendo comparar patrones entre países con magnitudes económicas dispares. Se construyeron paneles visuales por país que permiten identificar trayectorias de convergencia o desacoplamiento entre bienestar humano y presión ambiental. El análisis se enfocó en identificar posibles simultaneidades o desfases entre las curvas, como evidencia probable de patrones de trampa de pobreza ecológica o desarrollo ambientalmente insostenible.

3.2.3. Modelización causal del bienestar socioambiental

Para identificar relaciones estructurales entre desigualdad interna, presión ambiental y desempeño en desarrollo humano, se aplicaron modelos de regresión lineal múltiple independientes por país, utilizando como variable dependiente el IDH. Las variables explicativas incluyeron el coeficiente de Gini (desigualdad), la huella ecológica per cápita (presión ambiental) y el valor de exportaciones de bienes basados en capital natural (dependencia económica).

El análisis se desarrolló sobre series anuales 2000–2022, cumpliendo los supuestos de regresión (linealidad, homocedasticidad, independencia y normalidad de residuos). Se aplicó el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) para controlar multicolinealidad entre predictores. La interpretación de los coeficientes significativos se centró en: (i) el efecto de la desigualdad sobre el bienestar sostenible; (ii) la contribución de la presión ecológica al desarrollo humano; y (iii) el peso de la dependencia extractiva como condicionante estructural.

Todas las variables utilizadas provienen de bases de datos oficiales y consolidadas: Banco Mundial, Global Footprint Network, FAO y Naciones Unidas, asegurando trazabilidad, comparabilidad internacional y validez metodológica.

3.3. Estimación monetaria de deuda ecológica y eficiencia del comercio

3.3.1. Análisis geográfico del comercio de recursos y externalidades

Se identificaron los principales destinos de exportación de recursos naturales desde los países andinos para el año 2023, utilizando datos del *Atlas of Economic Complexity* (Harvard Growth Lab, 2025). A partir de esta información, se construyó un ranking de los seis mayores países importadores, considerando el volumen físico y el valor monetario de las transacciones. Esto permitió caracterizar la concentración geográfica del comercio extractivo y seleccionar, para cada país exportador, su recurso estratégico dominante (en términos de valor FOB).

Este análisis territorial permite contextualizar la dirección de los flujos de capital natural, visibilizando las relaciones estructurales de dependencia con las economías del Norte Global y la transferencia no monetizada de externalidades ambientales. Los recursos seleccionados constituyen la base para el cálculo posterior de los impactos ambientales exportados.

3.3.2. Cálculo de la deuda ecológica como externalidad estructural

Con el propósito de cuantificar los impactos ambientales no compensados generados por la exportación de recursos naturales estratégicos desde la Región Andina (RA), se aplicó una metodología de estimación multicriterio de la deuda ecológica, entendida como el saldo negativo entre los costos ecológicos reales y los beneficios económicos obtenidos.

Este procedimiento responde directamente al objetivo específico 3 y a la hipótesis que sostiene que el comercio exterior andino produce un subsidio ambiental neto hacia los países importadores.

Para cada recurso seleccionado —en función de su peso exportador según se definió en 3.3.1— se estimaron cuatro dimensiones de impacto ambiental por unidad física exportada:

- Emisiones de gases de efecto invernadero (kg CO₂e/unidad),
- Huella hídrica (m³/unidad),
- Huella energética (MJ/unidad),
- Uso de suelo (m².a).

Los valores unitarios de impacto se extrajeron de bases de datos estandarizadas de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), como *ecoinvent*, IPCC (2019), Mekonnen & Hoekstra (2011), así como de literatura científica especializada para cada tipo de recurso. A continuación, estos impactos fueron monetizados mediante la aplicación de factores de valoración ambiental que reflejan costos sociales promedio internacionalmente aceptados:

- **VSC** (Valor Social del Carbono): 100 USD por tonelada de CO₂e (Nordhaus, 2017; Banco Mundial, 2024),
- **VHA** (Valor del uso de Agua dulce): 0.70 USD por m³ (PNUMA, 2020; WFN, 2021),
- **VEA** (Valor Económico de la Energía consumida): 0.05 USD por MJ (IEA, 2022),
- **VSU** (Valor del Suelo utilizado): 2.5 USD por m²a (Costanza et al., 2014; IPBES, 2019;).

El costo ambiental unitario (CAU) se estimó utilizando la fórmula:

$$CAU = (Emisiones\ CO2 \times VSC) + (Huella\ hídrica \times VHA) \\ + (Huella\ energética \times VEA) + (Uso\ del\ suelo \times VSU)$$

Con base en este valor, se calcularon los siguientes indicadores agregados:

- **Costo Ambiental Total (CAT):**

$$CAT = CAU \times Volumen\ exportado$$

- **Valor Total de Exportaciones (VET):**

$$VET = \text{Precio unitario de mercado} \times \text{Volumen exportado}$$

- **Deuda Ecológica Total (DET):**

$$DET = CAT - VET$$

- **Deuda Relativa (%):** para medir la magnitud del déficit ecológico en relación con el valor económico:

$$\text{Deuda Relativa (\%)} = \left(\frac{DET}{VET} \right) \times 100$$

Una deuda relativa positiva indica que los costos ecológicos superan los ingresos económicos percibidos por el país exportador, lo que configura un subsidio ambiental neto implícito en las relaciones comerciales.

Cabe señalar que los factores monetarios utilizados en este cálculo corresponden a estimaciones de referencia ampliamente reconocidas y validadas en la literatura científica internacional. Si bien estas cifras no reflejan las especificidades contextuales de cada proceso extractivo —por ejemplo, diferencias entre los costos de extracción de cobre en Perú y en Chile—, su uso en este estudio responde a la necesidad de establecer un marco de comparación homogéneo entre países. Esta decisión metodológica permite asegurar coherencia analítica y consistencia estructural en la estimación de impactos, sin comprometer la validez comparativa de los resultados obtenidos.

3.3.3. Evaluación de la eficiencia ecológica de las exportaciones

Se calculó la eficiencia ecológica como indicador sintético del rendimiento ambiental del modelo exportador, definido como el cociente entre el valor económico generado y el costo ambiental total incurrido:

$$\text{Eficiencia Ecológica} = \frac{\text{Valor Económico Total (USD)}}{\text{Costo Ambiental Total (USD)}}$$

Este indicador permite estimar cuántos dólares de ingreso se generan por cada dólar de impacto ambiental. A mayor valor, mayor sostenibilidad relativa.

El procedimiento metodológico incluyó:

- 1° Selección del recurso estratégico con mayor valor exportado por país.
- 2° Cálculo del CAT a partir de los impactos disponibles, priorizando emisiones de CO₂
- 3° Cálculo del VET con base en precios reportados por *World Bank Commodity Prices* del Banco Mundial (2023) y otras fuentes comerciales.
- 4° Estimación de la eficiencia ecológica (EE) como insumo para el análisis comparado regional.

Esta aproximación permite identificar qué países andinos sostienen modelos de exportación más sostenibles en términos relativos, y cuáles reproducen patrones extractivos intensivos en externalidades no compensadas.

3.4. Análisis y presión ecológica en países importadores

3.4.1. Relación multivariable de presión ecológica, ingreso y eficiencia del uso de recursos

Se diseñó un análisis gráfico multivariable para representar simultáneamente el vínculo entre presión ambiental, ingreso económico y eficiencia ecológica. La configuración consideró los siguientes elementos:

- **Eje X:** Huella ecológica per cápita (gha/persona), como medida de presión ambiental.
- **Eje Y:** Producto Interno Bruto (PIB) per cápita en dólares constantes, como proxy de bienestar económico.
- **Color de la burbuja:** Codificación de eficiencia ecológica (USD/gha), entendida como la cantidad de ingreso económico generado por unidad de presión ecológica.
- **Tamaño de la burbuja:** Proporcional al volumen de importaciones de bienes de capital natural provenientes de la Región Andina.

Los datos utilizados provienen del Global Footprint Network (2025) y del Banco Mundial (2024). Esta visualización permite identificar patrones de sostenibilidad relativa entre

países, revelando cuáles alcanzan altos niveles de ingreso con mayor eficiencia ecológica y cuáles lo hacen a expensas de mayor presión ambiental y dependencia externa. La configuración facilita la lectura integrada del rendimiento socioambiental comparado, aportando evidencia sobre la distribución global de los esfuerzos ecológicos.

3.4.2. Cálculo del Índice de Sostenibilidad Ecológica Interna y de Dependencia de Biocapacidad Externa

Para caracterizar cuantitativamente el grado de sostenibilidad interna y dependencia ambiental estructural de los países importadores, se calcularon dos indicadores compuestos:

- **Índice de Sostenibilidad Ecológica Interna (ISEI):**

$$ISEI = \frac{Biocapacidad\ interna\ per\ cápita(gha/cap)}{Huella\ ecológica\ per\ cápita\ (gha/cap)}$$

Valores superiores a 1 indican superávit ecológico, mientras que valores inferiores señalan déficit estructural.

- **Índice de Dependencia de Biocapacidad Importada (EDBI):**

$$EDBI = \frac{Huella\ ecológica\ per\ cápita - Biocapacidad\ interna\ per\ cápita}{Huella\ ecológica\ per\ cápita}$$

Valores positivos implican que el país depende de la apropiación neta de servicios ecosistémicos externos para sostener su nivel de consumo.

Ambos indicadores fueron calculados con base en datos del Global Footprint Network (2025) y permiten establecer relaciones cuantificables entre sostenibilidad territorial y apropiación ecológica global.

3.4.3. Modelización causal de sostenibilidad y bienestar en economías importadoras

Para analizar las relaciones causales entre sostenibilidad ambiental, desigualdad socioeconómica y desarrollo humano, se implementó un modelo de regresión lineal múltiple independiente por país. Se utilizaron datos anuales correspondientes al período 2000–2022, con las siguientes variables:

- **Variable dependiente:** Índice de Desarrollo Humano (IDH).
- **Variables independientes:**
 - Huella ecológica per cápita (gha/persona).
 - Coeficiente de Gini (como proxy de desigualdad económica),
 - Biocapacidad interna per cápita (gha/persona).

La validez estadística del modelo fue verificada mediante pruebas de linealidad, homocedasticidad, independencia de errores y normalidad de residuos. Se controló la colinealidad entre predictores mediante el cálculo del Factor de Inflación de la Varianza (VIF). Este análisis permitió identificar el grado en que las presiones ecológicas y las condiciones distributivas internas afectan el bienestar humano alcanzado por los países importadores, donde posiblemente la sostenibilidad del consumo no necesariamente se traduce en equidad ambiental o justicia social.

3.5. Análisis crítico de mecanismos internacionales de compensación

3.5.1. Delimitación del enfoque y criterios de análisis

La presente sección se propone evaluar críticamente la capacidad de los mecanismos internacionales de compensación ambiental para corregir las asimetrías ecológicas generadas por el comercio internacional de recursos naturales, particularmente en el caso de la Región Andina. Esta evaluación se formula desde una perspectiva de equidad ecológica, en coherencia con el enfoque del intercambio ecológicamente desigual, y se vincula de forma directa con el objetivo específico 5, la pregunta 5 y la hipótesis 5 del estudio.

La selección de mecanismos se ha guiado por tres criterios:

- **Relevancia operativa internacional:** instrumentos que ya tienen aplicación efectiva en contextos similares.
- **Diversidad de enfoques normativos:** incluyendo mecanismos de mercado, de transferencia directa y de gobernanza privada.
- **Potencial para integrar principios de justicia ambiental:** como distribución equitativa, reconocimiento y participación local.

Los mecanismos seleccionados son:

1. **Pagos por Servicios Ecosistémicos (PSE),**
2. **Mercados de carbono** (con atención a REDD+ y ETS),
3. **Certificaciones de comercio justo ambiental** (FSC, FairTrade, Rainforest Alliance).

Cada uno será analizado con base en tres dimensiones concretas:

- **Eficacia ecológica:** capacidad de mitigar impactos ambientales reales.
- **Equidad territorial:** grado de redistribución hacia comunidades o Estados proveedores de servicios ecosistémicos.
- **Viabilidad institucional:** posibilidades de implementación a escala nacional o regional en el contexto andino.

Este marco acotado permite realizar una evaluación directamente conectada con los hallazgos del capítulo 4, especialmente en lo relativo a la deuda ecológica estimada, el subsidio ambiental neto y la falta de retorno compensatorio al Sur Global.

3.5.2. Fundamento metodológico para la propuesta de compensación

A partir de la evidencia empírica de este estudio —en particular, la constatación de que los países andinos incurren en altos costos ambientales no compensados por el comercio internacional— se presenta una propuesta exploratoria de compensación estructurada, limitada en alcance pero fundamentada en los hallazgos.

La metodología para esta propuesta parte de los siguientes pasos:

1. **Identificación del desequilibrio central:** cada exportación estratégica genera una deuda ecológica cuantificable (ver sección 4.3.2).
2. **Revisión de mecanismos existentes:** se contrastan sus limitaciones para atender este desequilibrio (ver 3.5.1).
3. **Síntesis de principios normativos:** se adopta la idea de “quien se beneficia, compensa”, apoyado con un enfoque de “redistribución ecológica condicionada”.

4. **Propuesta de marco complementario:** se sugiere articular un instrumento regional de compensación ambiental Sur-Sur, que funcione como espacio piloto y a futuro se conecte con iniciativas internacionales.

Este instrumento se basaría en tres líneas operativas:

- **Asignación de fondos o tecnología por volumen exportado y por nivel de deuda ecológica calculada.**
- **Condicionidad positiva para países importadores:** exigencia de trazabilidad ecológica o certificados de contribución justa.
- **Enlace con instrumentos existentes:** por ejemplo, canalizar recursos a través de PSE o integrar criterios de deuda ecológica en certificaciones tipo FSC o Rainforest Alliance.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estructura exportadora y externalización de servicios ecosistémicos

4.1.1. Concentración exportadora y patrón de inserción extractiva

La **Tabla 1** muestra los cinco principales productos de exportación por país en la Región Andina, considerando aquellos de origen natural vinculados a sectores como agricultura, minería o energéticos. Los datos, extraídos del Atlas of Economic Complexity (Harvard Growth Lab, 2025), reflejan el peso relativo de estos productos respecto al total exportado por cada economía. La **Figura 1** presenta gráficamente su participación conjunta, revelando una concentración que oscila entre el 26.42 % (Argentina) y el 63.15 % (Ecuador).

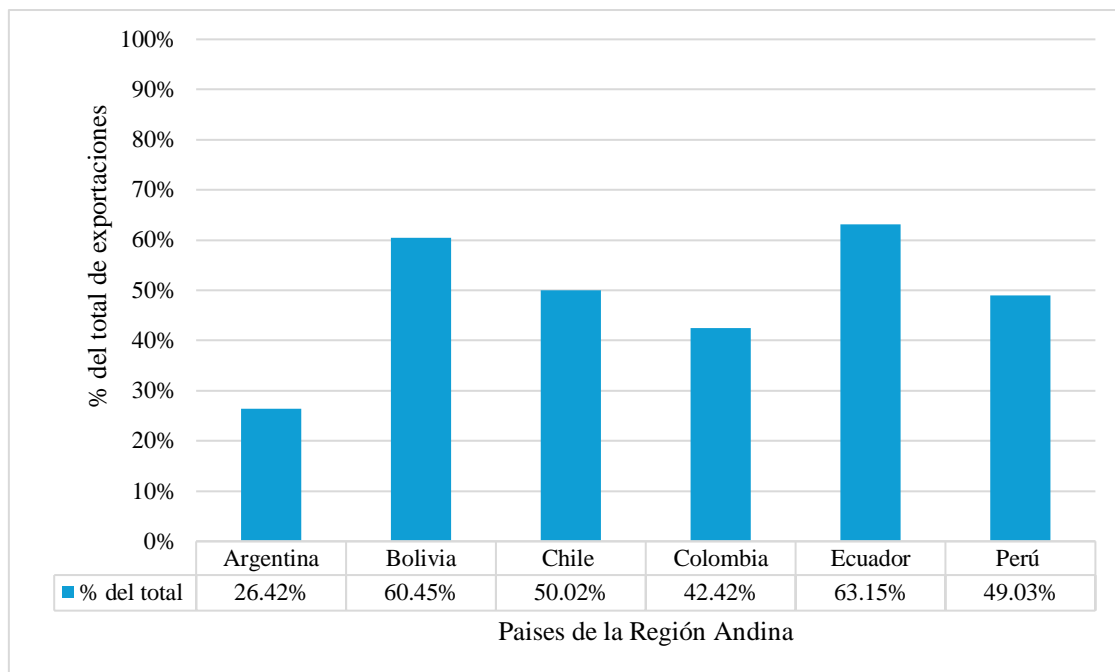
Tabla 1. Concentración sectorial de exportaciones de bienes naturales por país en la Región Andina (2023).

Países de la RA	Ranking de principales productos comerciales				
	1°	2°	3°	4°	5°
Argentina	Harina de Soya	Maíz	Aceite de Soya	Petróleo crudo	Oro
	8.70%	7.15%	4.55%	3.95%	2.07%
Bolivia	Oro	Petróleo crudo	Zinc	Metales preciosos	Soya
	21.67%	19.11%	7.10%	6.37%	6.20%
Chile	Cobre	Cobre refinado y aleaciones	Carbonatos (Na, K)	Filetes de pescado	Melocotones y cerezas
	22.70%	15.87%	5.30%	3.53%	2.62%
Colombia	Petróleo crudo	Carbón	Oro	Café	Petróleo refinado
	17.99%	12.09%	4.32%	4.04%	3.98%
Ecuador	Petróleo crudo	Crustáceos	Plátanos y bananas	Oro	Pescado en conserva
	27.84%	17.71%	10.30%	3.83%	3.47%
Perú	Cobre	Oro	Cobre refinado y aleaciones	Petróleo refinado	Frutas en fresco
	27.61%	11.93%	3.83%	3.10%	2.56%

Fuente: Elaboración propia a partir de Harvard Growth Lab (2025).

Figura 1.

Porcentaje del total exportado representado por los cinco principales productos naturales (2023).



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los resultados confirman una elevada dependencia comercial de productos primarios en todos los países analizados, aunque con variaciones significativas. Bolivia, Ecuador, Perú y Chile presentan una estructura exportadora intensamente extractiva, con más del 49 % de sus exportaciones concentradas en cinco bienes. Esta configuración los expone a riesgos macroeconómicos derivados de la volatilidad del mercado internacional de materias primas. Argentina, con un 26.42 %, evidencia una relativa diversificación, aunque centrada en cadenas agroindustriales también basadas en capital natural.

Este patrón confirma una inserción subordinada en la economía global, caracterizada por bajo valor agregado, escasa innovación y captura limitada de beneficios en la etapa post-extractiva. La estructura comercial, por tanto, reproduce condiciones de dependencia económica y ecológica que restringen la transición hacia modelos de desarrollo más resilientes.

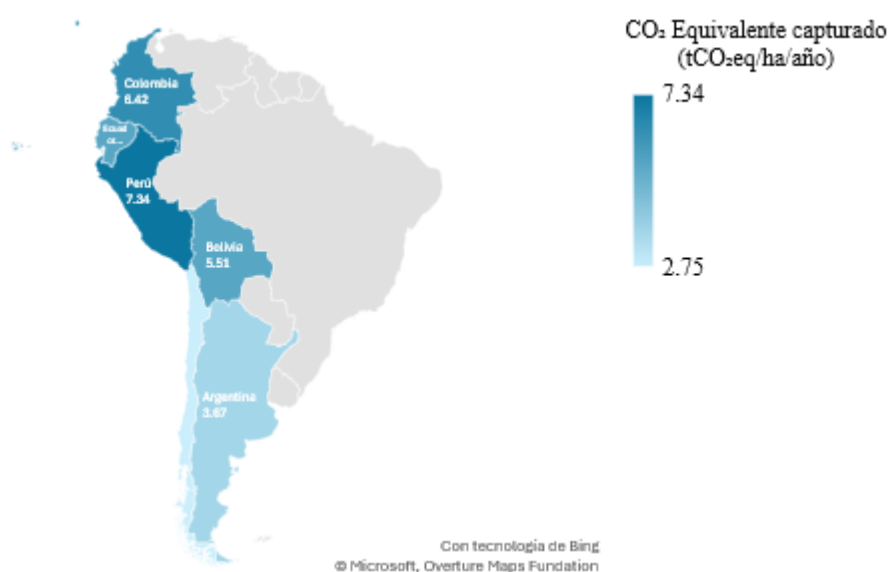
Estos datos invitan a repensar la estrategia de inserción internacional, incorporando criterios de sostenibilidad ecológica en la planificación productiva y comercial, sin desvincularla de los márgenes fiscales y sociales que los sectores extractivos aún sostienen en la región.

4.1.2. Valoración del servicio de captura de carbono.

La **Figura 2** presenta los valores promedio de captura de carbono en ecosistemas forestales andinos ($tCO_2eq/ha/año$), estimados con base en datos del Global Forest Resources Assessment (FAO, 2020) y metodologías IPCC (2006, 2019). Perú lidera con $7.34 tCO_2eq/ha/año$, seguido de Colombia (6.42), Ecuador (6.04) y Bolivia (5.51). Chile y Argentina exhiben valores menores (2.75 y 3.67 respectivamente).

Figura 2.

Captura promedio anual de carbono en países andinos ($tCO_2eq/ha/año$).



Fuente: FAO (2020), IPCC (2006, 2019), elaboración propia.

Discusión

La elevada capacidad de captura observada en Perú, Colombia y Ecuador evidencia una provisión crítica de servicios ecosistémicos de regulación climática, relevantes a escala global pero invisibilizados en las estructuras comerciales. Esta función ecológica, no remunerada ni internalizada en los precios internacionales, representa un “aporte ambiental oculto” que genera valor sistémico sin retorno económico local.

La ausencia de mecanismos efectivos de compensación o retribución internacional refuerza una lógica de externalización de beneficios y asimetría estructural. En contraposición, países con menor capacidad de captura y mayor industrialización —como Argentina o Chile— se benefician indirectamente de este saldo ambiental neto.

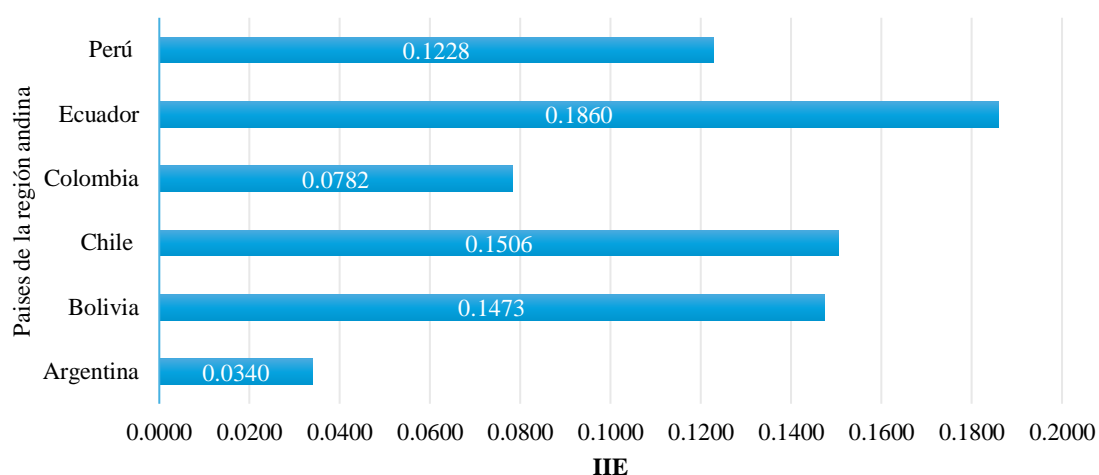
Desde una perspectiva de gestión ambiental, esta evidencia sustenta la necesidad de integrar la contabilización de servicios ecosistémicos en las balanzas económicas nacionales, como base para futuras negociaciones multilaterales sobre deuda ecológica, PSE o instrumentos climáticos compensatorios.

4.1.3. Estimación del Índice de Intensidad Económica (IIE)

La **Figura 3** presenta el Índice de Intensidad Económica (IIE), que relaciona el valor de los cinco principales productos naturales exportados con el PIB nacional. Ecuador (0.1860), Chile (0.1506) y Bolivia (0.1473) presentan los niveles más altos; Argentina el más bajo (0.0340).

Figura 3.

Índice de Intensidad Económica (IIE) en países de la Región Andina (2023).



Fuente: Banco Mundial (2025), Harvard Growth Lab (2025), elaboración propia.

Discusión

El IIE revela el grado de dependencia de cada economía respecto al comercio de bienes naturales. Ecuador y Bolivia, con altos índices, confirman su vulnerabilidad estructural ante fluctuaciones externas, tanto en precios como en condiciones climáticas o normativas ambientales globales. Perú y Chile también muestran valores significativos, consistentes con sus estructuras exportadoras basadas en minería y agricultura extensiva.

Argentina y Colombia, con menores IIE, podrían contar con márgenes más amplios para diversificar sus fuentes de crecimiento. Sin embargo, esta menor intensidad no garantiza por sí sola sostenibilidad: puede ocultar presiones ambientales derivadas de otros

sectores, como expansión urbana, ganadería o consumo energético.

Este indicador aporta una mirada estratégica sobre la resiliencia económica y la necesidad de políticas transversales que no solo promuevan diversificación productiva, sino también mecanismos de transición justa que reduzcan el costo ambiental de la competitividad internacional.

4.2. Desajuste entre biocapacidad y desarrollo humano

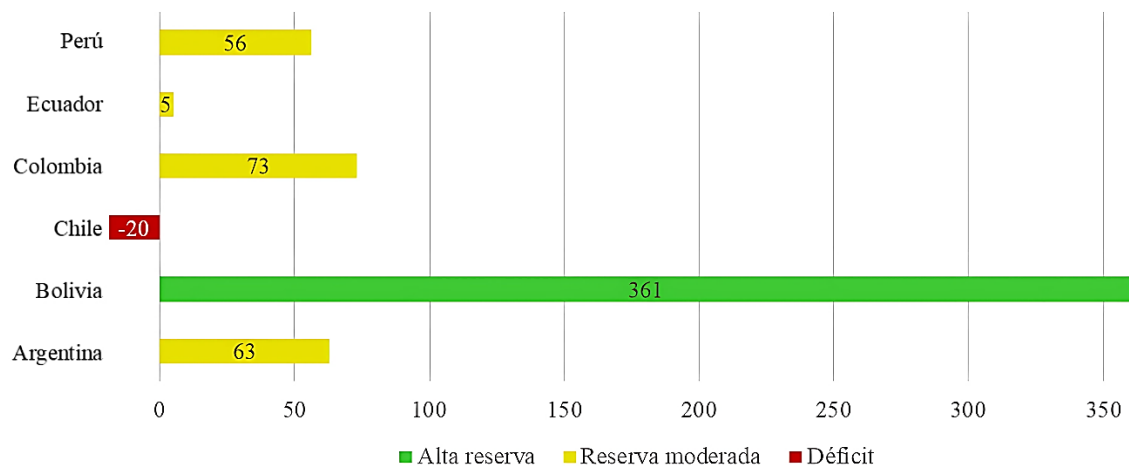
4.2.1. Clasificación regional según equilibrio ecológico

La **Figura 4** presenta el balance ecológico de los países de la Región Andina en 2024, cuantificado como la diferencia porcentual entre la biocapacidad disponible y la huella ecológica de consumo (gha per cápita). Según este indicador:

- **Alta reserva ecológica** (verde): Bolivia, con un superávit del **+361 %**, es el único país de la región que exhibe una reserva ecológica muy elevada.
- **Reserva moderada** (amarillo): Argentina (+63 %), Colombia (+73 %) y Perú (+56 %) mantienen saldos positivos que indican margen para sostener niveles actuales de consumo sin recurrir a biocapacidad externa.
- **Equilibrio frágil** (amarillo tenue): Ecuador (+5 %) se sitúa apenas por encima del punto de equilibrio, lo que lo hace altamente vulnerable a pequeñas alzas en la demanda o a déficits de conservación.
- **Déficit ecológico** (rojo): Chile registra un saldo de **-20 %**, denotando que su presión ecológica supera con creces la capacidad regenerativa de sus propios ecosistemas.

Figura 4.

Balance ecológico nacional de países andinos: comparación de biocapacidad y huella ecológica per cápita (2024).



Fuente: Elaboración propia con datos de Global Footprint Network (2025).

Discusión

La mayoría de los países andinos conservan un superávit ecológico, lo cual constituye una ventaja estratégica que debe aprovecharse para transiciones productivas sostenibles. Sin embargo, esta ventaja es transitoria: actividades extractivas, deforestación y expansión urbana amenazan la estabilidad de la biocapacidad.

- Bolivia, con su amplio superávit, podría convertirse en un “pulmón ecológico” regional, pero corre el riesgo de perder esta posición si no regula el avance de la minería y la tala ilegal.
- Ecuador se encuentra en un punto de inflexión; un leve incremento en la huella (por ejemplo, por mayor exportación de palma o petróleo) lo arrastraría rápidamente al déficit, subrayando la necesidad urgente de reforzar sus políticas de conservación.
- El déficit de Chile pone de manifiesto un modelo de consumo interno intensivo en recursos, que depende en parte de la importación neta de biocapacidad y reproduce dinámicas de inequidad intrarregional.

Este balance ecológico, al integrarse con variables económicas y sociales, aporta un diagnóstico holístico: disponer de reservas ecológicas amplias no garantiza desarrollo justo ni sostenible si no se articulan con políticas que incorporen la gestión proactiva del capital natural, la diversificación productiva y la redistribución equitativa de beneficios.

4.2.2. Evolución de trayectorias temporales de sostenibilidad y bienestar

La **Figura 5** compara, para el período 2000–2022, la evolución de cuatro indicadores normalizados (escala 0–1) en cada país andino:

- **PIB per cápita** (crecimiento económico),
- **Huella ecológica per cápita** (presión ambiental),
- **Índice de Desarrollo Humano (IDH)** (bienestar social),
- **Tasa de pobreza multidimensional** (exclusión social).

Principales hallazgos

1. **Argentina:**

- El IDH y el PIB muestran una tendencia sostenida al alza.
- La huella ecológica se estabiliza después de 2010, sugiriendo cierto desacoplamiento.
- La pobreza multidimensional se reduce lentamente, lo que indica que el crecimiento no se traduce plenamente en inclusión social.

2. **Bolivia:**

- La pobreza disminuye hasta mediados de la década de 2010, luego se estanca.
- La huella crece de manera pronunciada junto con el IDH, mostrando una dependencia estrecha entre expansión extractiva y mejoras sociales.
- La reversión reciente de indicadores sociales subraya vulnerabilidades ante choques externos.

3. **Chile:**

- Sólida reducción de la pobreza y alta estabilidad del IDH.
- La huella ecológica aumenta de forma persistente, coincidiendo con el déficit de biocapacidad.
- El país ha priorizado mejoras sociales, pero sin contener la presión ambiental.

4. **Colombia:**

- PIB e IDH presentan oscilaciones marcadas, reflejo de inestabilidades macroeconómicas y políticas.
- La huella sigue un patrón volátil, evidenciando baja resiliencia ecológica.

- La reducción de la pobreza multimodal no siempre se acompaña de estabilidad económica.

5. Ecuador:

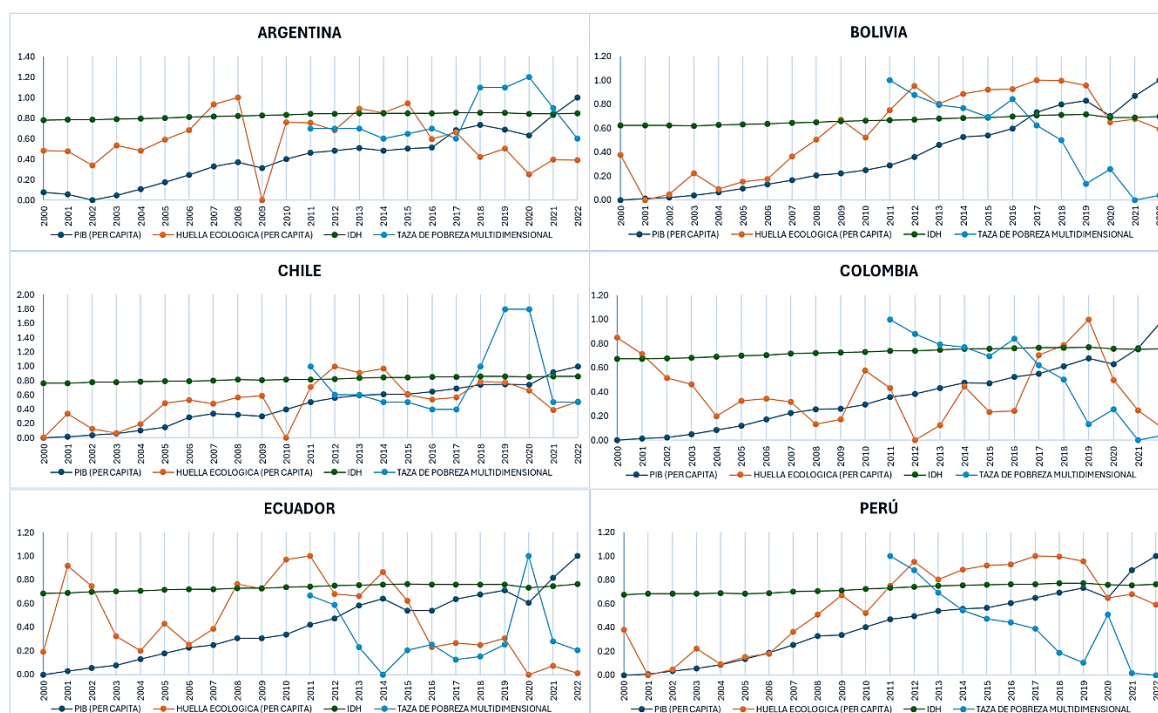
- Trayectoria de IDH y reducción de pobreza menos consistente, con altibajos vinculados a las fluctuaciones de los precios del crudo.
- La huella experimenta picos muy pronunciados, en línea con el modelo extractivo.
- Muestra fragilidad ante variaciones externas, confirmando su equilibrio ecológico precario.

6. Perú:

- Evolución paralela de PIB, IDH y huella, lo que sugiere un “desarrollo acoplado” al incremento de la presión ecológica.
- La pobreza disminuye, pero las mejoras sociales dependen de un crecimiento intensivo en recursos.

Figura 5.

Trayectorias normalizadas de PIB per cápita, huella ecológica, IDH y pobreza multidimensional en países andinos (2000–2022).



Fuente: Elaboración propia a partir de Global Footprint Network, Banco Mundial y PNUD (2025).

Discusión

En la mayoría de los países andinos, los avances observados en bienestar humano — medidos por el IDH y la reducción de la pobreza multidimensional— han estado acompañados de un incremento sostenido en la huella ecológica per cápita. Esta tendencia respalda empíricamente la hipótesis de un desacoplamiento débil entre crecimiento económico y presión ambiental, en el que la mejora social no ha logrado desvincularse de un uso intensivo de recursos naturales. Solo Argentina muestra señales parciales de desacoplamiento, con estabilidad relativa de la huella ecológica pese al aumento del ingreso y el IDH. No obstante, estos indicios aún son insuficientes para garantizar una senda de sostenibilidad estructural sin una profundización de las reformas productivas, redistributivas y ambientales.

Diversos estudios han documentado cómo los países en desarrollo que mantienen superávit ecológico pueden caer en una “trampa de pobreza ecológica” cuando la riqueza natural no se traduce en mejoras sustanciales del bienestar humano (Martínez-Alier, 2002; O’Neill et al., 2018). Por ejemplo, aunque Bolivia exhibe un superávit ecológico elevado, sus avances en Índice de Desarrollo Humano (IDH) han sido modestos, debido en parte a la distribución desigual de ingresos y la falta de inversiones en servicios básicos (Sayer et al., 2013).

En contraste, Argentina muestra cierto desacoplamiento entre huella ecológica y crecimiento del IDH, alineado con la hipótesis de que políticas sectoriales de eficiencia pueden mejorar la sostenibilidad (Fanning, et al., 2022). Sin embargo, este caso es la excepción: la mayoría de los países andinos experimentan aumentos paralelos de huella e IDH, reflejando un modelo de desarrollo intensivo en recursos que no garantiza la protección de capital natural.

En el ámbito académico, se ha sugerido que el logro de un desarrollo verdaderamente sostenible requiere no solo indicadores agregados de biocapacidad y huella, sino también mecanismos redistributivos internos que reduzcan la desigualdad (Raworth, 2018). Políticas fiscales progresivas, pagos por servicios ecosistémicos dirigidos a comunidades rurales, y marcos de gobernanza participativa son elementos clave para romper esta trampa (Sultana, 2022).

4.2.3. Evidencia de trampa ecológica en países con superávit y bajo bienestar

Para evaluar cómo la biocapacidad positiva puede coexistir con niveles de bienestar insuficientes, se aplicó una regresión lineal múltiple (2000–2022) por país, con IDH como variable dependiente y Gini, huella ecológica y exportaciones de capital natural como predictores. La **Tabla 2** sintetiza los resultados obtenidos, destacando el nivel de ajuste del modelo y la significancia de las variables independientes para cada nación.

Tabla 2. Regresiones múltiples del IDH frente a variables ecológicas y socioeconómicas en países andinos (2000–2022).

País	R ²	VARIABLES SIGNIFICATIVAS (p < 0.05)	Comentario General
Argentina	0.95	Gini (p < 0.001), Exportaciones (p = 0.046)	La desigualdad y la dependencia de recursos impactan negativamente al IDH.
Bolivia	0.93	Huella (p = 0.003), Gini (p < 0.001)	Huella positiva mejora IDH; la desigualdad lo reduce.
Chile	0.75	Gini (p < 0.001)	La desigualdad reduce significativamente el IDH.
Colombia	0.67	Gini (p < 0.001)	Alta desigualdad se asocia a menor IDH.
Ecuador	0.92	Gini (p < 0.001)	El IDH disminuye con el aumento de desigualdad.
Perú	0.88	Gini (p < 0.001)	La desigualdad afecta negativamente el IDH.

Fuente: Elaboración propia con base en la ONU, Global Footprint Network y Banco Mundial (2025).

Discusión

- La desigualdad interna (Gini) es el factor más influyente en el bienestar, presente en todos los modelos con $p < 0.001$.
- Solo en Argentina y Bolivia la dependencia extractiva (exportaciones de capital natural) y la huella resultan también significativas, aunque con signos opuestos: en Bolivia, la presión ambiental coexiste con mejoras de IDH, reflejo de un modelo extractivo en etapas de desarrollo; en Argentina, la especialización extractiva empieza a penalizar el bienestar.
- Los países con superávit ecológico (como Argentina, Bolivia, Perú y Colombia) no garantizan automáticamente un alto IDH si la desigualdad persiste. Ésta actúa

como una “trampa social” que impide traducir la riqueza ecológica en mejoras inclusivas.

Estos hallazgos ponen de relieve que, sin una política redistributiva efectiva y una gobernanza ambiental transformadora, la presencia de reservas ecológicas puede resultar insuficiente para impulsar un desarrollo humano sostenible e igualitario.

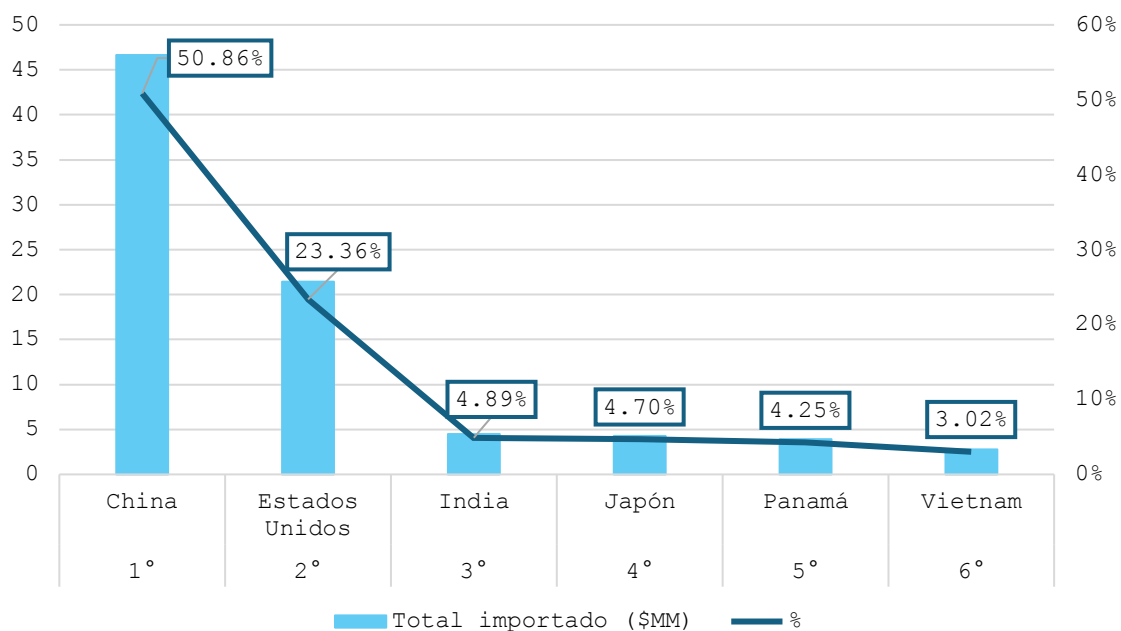
4.3. Costos ocultos del comercio y subsidios ecológicos netos

4.3.1. Mapeo de destinos de exportación y concentración de la demanda internacional

La **Figura 6** representa la distribución porcentual de los principales países importadores de recursos naturales provenientes de la Región Andina en 2023. China y Estados Unidos concentran el 50,86 % y 23,36 % del valor total exportado, respectivamente, mientras que India, Japón, Panamá y Vietnam completan el grupo de los seis principales compradores, que en conjunto absorben más del 90 % de las exportaciones totales.

Figura 6.

Distribución porcentual del comercio andino de recursos naturales según destino de importación (2024).



Fuente: Elaboración propia a partir del Atlas de la Complejidad Económica (Harvard Growth Lab, 2025).

Discusión

Los datos revelan una altísima concentración geográfica del comercio andino de recursos naturales, con una marcada dependencia de mercados dominados por China y Estados Unidos. Este patrón de inserción internacional refuerza la hipótesis de dependencia estructural (O1, H1), evidenciando la limitada diversificación comercial de la región. Desde una perspectiva ecológica, esta dependencia no es neutra: los países importadores acumulan los beneficios económicos de transformación y consumo, mientras los costos ambientales asociados (emisiones, agotamiento de ecosistemas, contaminación) permanecen en los territorios de origen, sin mecanismos de redistribución compensatoria.

La concentración también incrementa la vulnerabilidad externa de los países exportadores frente a shocks exógenos (crisis logísticas, guerras comerciales, caída de precios), debilitando sus márgenes de maniobra para avanzar hacia modelos de desarrollo soberanos y sostenibles. Este fenómeno responde a una lógica sistémica del comercio global, caracterizada por la transferencia de presiones ecológicas desde el Norte hacia el Sur, como ya ha sido ampliamente documentado (Chakraborty et al., 2021). Por tanto, cualquier estrategia de justicia ambiental debe considerar no solo el volumen de flujos, sino también su distribución geopolítica y las condiciones bajo las cuales se formaliza el intercambio.

Además, estudios recientes han cuantificado que los países de altos ingresos obtienen un valor añadido por tonelada de materia prima exportada 11 veces superior al de los países de bajos ingresos, y 28 veces más por unidad de trabajo incorporado, lo que evidencia una apropiación sistemática de excedentes económicos y ecológicos a través del comercio internacional (Dorninger et al., 2021).

4.3.2. Estimación del subsidio ecológico neto hacia importadores

La **Tabla 3** presenta una estimación cuantitativa de la deuda ecológica generada por las exportaciones de los principales recursos naturales estratégicos desde seis países de la Región Andina durante el año 2023. Para cada país se seleccionó el recurso con mayor peso económico dentro de su estructura exportadora, y se estimó la deuda ecológica como la diferencia entre el Costo Ambiental Total (CAT) —calculado a partir del impacto unitario por emisiones de CO₂e, valorizado según el Valor Social del Carbono (VSC)— y el Valor Económico Total de Exportación (VET).

Tabla 3. Estimación de la deuda ecológica asociada a exportaciones principales de recursos andinos (2023).

País	Recurso Exportado Principal	Volumen Exportado (unidades)	Unidad de Medida	Costo Ambiental Unitario (USD/unidad)	Costo Ambiental Total (millones USD)	Valor de Exportación (millones USD)	Deuda Ecológica Total (millones USD)	Deuda Relativa (%)
Argentina	Harina de soya	29,000,000	Tonelada	18.3	530.7	12,644.00	-12,113.30	-95.8
Bolivia	Oro	39	Tonelada	118.5	0	0.14	-0.13	-96.61
Chile	Cobre	5,032,000	Tonelada	111.2	559.56	49,248.18	-48,688.63	-98.86
Colombia	Petróleo crudo	287,000,000	Barriles	1.39	398.93	18,675.09	-18,276.16	-97.86
Ecuador	Petróleo crudo	115,000,000	Barriles	1.39	159.85	7,483.05	-7,323.20	-97.86
Perú	Cobre	2,760,000	Tonelada	111.2	306.91	27,012.12	-26,705.21	-98.86

Fuente: Elaboración propia con base en Harvard Growth Lab (2025), IPCC (2006, 2019), Banco Mundial (2023) y bases de comercio internacional.

Discusión

Los resultados expuestos en la **Tabla 3** revelan una constante y significativa externalización de impactos ecológicos en el comercio internacional de recursos naturales andinos. En todos los casos, el costo ambiental total —calculado exclusivamente sobre la base de emisiones de CO₂e— excede con holgura el valor monetario obtenido por exportaciones, generando saldos negativos que constituyen un subsidio ecológico involuntario de los países exportadores hacia las economías industrializadas.

Los casos de Chile y Perú, exportadores netos de cobre, evidencian las mayores deudas absolutas (por encima de 26.000 millones de USD), lo que se explica por la combinación de altos volúmenes, precios internacionales competitivos y una notable intensidad energética en la actividad minera. La situación se repite en Colombia y Ecuador, cuyos flujos de petróleo implican pasivos ambientales superiores al 97 % de sus ingresos por exportación, a pesar de sus menores precios unitarios.

Argentina, tradicionalmente percibida como una economía agroexportadora más “ligera” en términos ambientales, reporta también una deuda relativa del -95.8 % al exportar harina de soya, resultado de una producción con alta huella hídrica, energética y territorial, muchas veces invisibilizada en los debates globales sobre sostenibilidad. El caso de Bolivia, aunque con valores absolutos bajos, presenta una proporción equivalente, mostrando que la lógica estructural del intercambio desigual se reproduce incluso en contextos de menor escala.

La evidencia empírica confirma la validez de la hipótesis H3, que sostiene que el comercio de bienes naturales estratégicos impone cargas ambientales no compensadas a los países proveedores. Esta dinámica no solo distorsiona los precios internacionales al ignorar los costos ecológicos reales, sino que también socava la justicia ambiental global, al no existir mecanismos eficaces de compensación o redistribución.

Más allá del plano contable, esta deuda ecológica es expresión de una asimetría sistémica entre el Sur proveedor y el Norte consumidor. Su reconocimiento no puede limitarse a métricas, sino que debe implicar acciones estructurales en política comercial y climática, como la adopción de criterios de corresponsabilidad ambiental, precios ajustados por impacto o instrumentos de compensación internacional. Sin estos, el camino hacia una transición ecológica justa y globalmente equitativa seguirá bloqueado por las bases mismas del comercio internacional contemporáneo.

4.3.3. Análisis de eficiencia ecológica por recurso estratégico

La **Tabla 4** presenta los resultados consolidados de eficiencia ecológica para los seis países de la Región Andina, considerando su principal recurso natural de exportación. Este indicador se calculó como el cociente entre el valor total de exportaciones (VET) y el costo ambiental total (CAT), medido únicamente mediante emisiones de CO₂e monetizadas a partir del valor social del carbono.

Tabla 4. Eficiencia ecológica de las exportaciones andinas (2023).

País	Recurso principal	Volumen exportado	Unidad	VET (millones USD)	CAT (millones USD)	Eficiencia ecológica (USD/USD impacto)
Argentina	Harina de soya	29,000,000	Tonelada	12,644.00	918.00	13.77
Bolivia	Oro	39	Tonelada	0.14	0.00	29.79
Chile	Cobre	5,032,000	Tonelada	49,248.18	1722.10	28.60
Colombia	Petróleo crudo	287,000,000	Barriles	18,675.09	693.00	26.95
Ecuador	Petróleo crudo	115,000,000	Barriles	7,483.05	277.30	26.99
Perú	Cobre	2,760,000	Tonelada	27,012.12	945.40	28.57

Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2025), IPCC (2006, 2019), FAO y Harvard Growth Lab (2025).

Discusión

Los resultados evidencian que, si bien todos los países andinos generan ingresos significativos por la exportación de bienes naturales, lo hacen asumiendo un costo ambiental considerable. Ninguno alcanza una eficiencia ecológica ideal desde el punto de vista de la sostenibilidad, ya que todos operan en rangos donde los impactos superan los umbrales que permitirían considerar el comercio como justo o equilibrado desde una perspectiva ambiental.

Argentina muestra la menor eficiencia (13.77 USD/USD impacto), lo que refleja un uso intensivo de insumos y territorio en la producción de soya. Aunque la soya es rentable en términos brutos, sus externalidades —deforestación, pérdida de suelos, emisiones— reducen significativamente su retorno ecológico.

Colombia y Ecuador, exportadores de petróleo, registran eficiencias intermedias (26.95 y 26.99, respectivamente). Aunque los ingresos por barril son altos, los impactos derivados del ciclo de vida del crudo (emisiones, derrames, afectación de ecosistemas) diluyen estos beneficios.

Chile y Perú presentan las mejores eficiencias relativas (28.60 y 28.57), atribuibles en parte al elevado valor internacional del cobre. Sin embargo, esta aparente ventaja económica no debe ocultar que su producción conlleva importantes costos ambientales no incluidos en el análisis —como la contaminación de agua, el uso intensivo de energía y el pasivo de relaves mineros— que podrían reducir su eficiencia real si se incorporaran otras dimensiones.

El caso de Bolivia, con una eficiencia elevada (29.79), debe interpretarse con precaución, dado el bajo volumen total exportado. Su resultado refleja más una escala reducida que una optimización sistémica.

En conjunto, esta evidencia respalda la hipótesis H3, mostrando que los países exportadores transfieren grandes cantidades de capital natural a cambio de ingresos monetarios que no compensan adecuadamente los costos ecológicos. La eficiencia ecológica, aunque útil como indicador técnico, no debe interpretarse únicamente en términos económicos, sino como una expresión de las inequidades estructurales en la asignación global del esfuerzo ambiental.

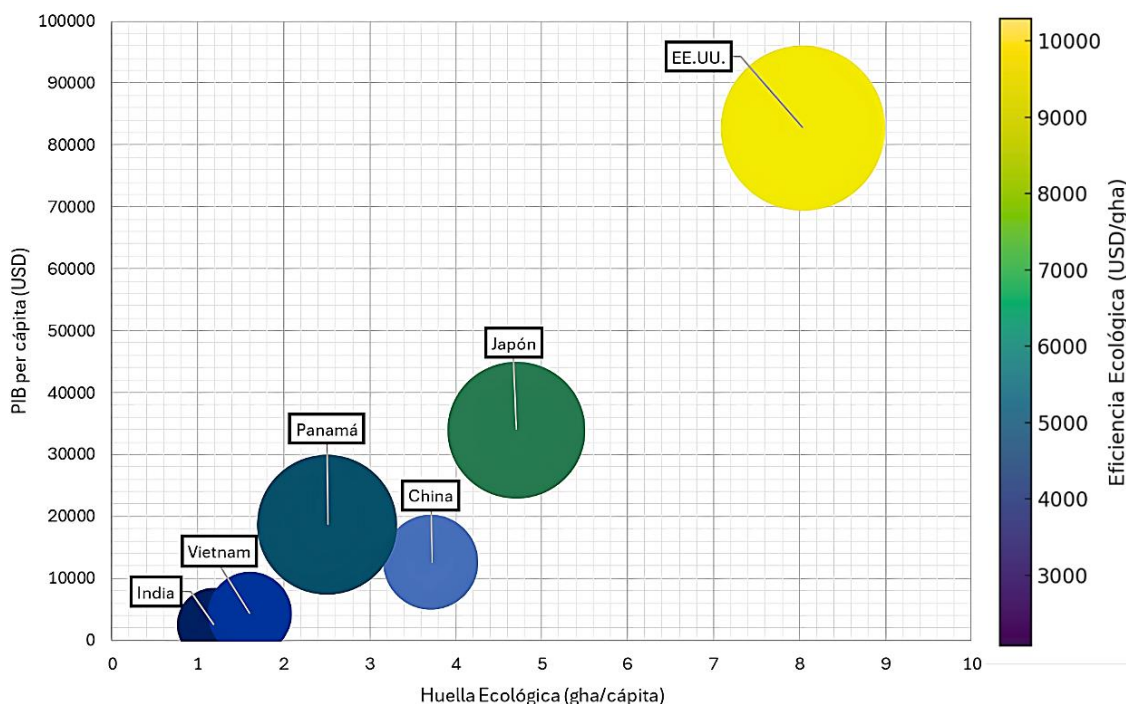
4.4. Inequidad ecológica y eficiencia de recursos importados

4.4.1. Índices compuestos de sostenibilidad y presión ecológica

La **Figura 7** presenta una visualización integrada de tres dimensiones clave: el ingreso per cápita (eje Y), la huella ecológica per cápita (eje X) y la eficiencia ecológica (color), expresada como la cantidad de ingreso generado por unidad de presión ambiental (USD/gha). El tamaño de las burbujas representa el volumen de importaciones de recursos naturales desde la Región Andina, lo cual añade una dimensión de responsabilidad ecológica a la comparación.

Figura 7.

Relación entre ingreso per cápita, huella y eficiencia ecológicas en países importadores de recursos andinos (2024).



Fuente: Elaboración propia a partir de Global Footprint Network (2025), Banco Mundial (2025) y cálculos propios.

Discusión

La figura revela un patrón estructural de inequidad ecológica global. Estados Unidos destaca por una combinación extrema: presenta el mayor ingreso per cápita y la huella ecológica más alta, pero también la eficiencia ecológica más elevada (>10,000 USD/gha). Este aparente rendimiento refleja no tanto una sostenibilidad intrínseca, sino una alta

capacidad para externalizar su presión ambiental mediante cadenas de suministro transnacionales. En otras palabras, su eficiencia se construye parcialmente sobre la base de biocapacidad ajena.

Países como Japón y Panamá ocupan posiciones intermedias, con altos niveles de ingreso y huellas también elevadas, aunque no extremas. Ambos presentan una eficiencia ecológica considerable, pero continúan dependiendo estructuralmente de la apropiación de biocapacidad externa, lo que refuerza la tesis del intercambio ecológicamente desigual.

En contraste, India y Vietnam se sitúan en el cuadrante inferior izquierdo, con huellas ecológicas y PIB per cápita bajos. Su eficiencia es también limitada, lo que denota un uso de recursos todavía basado en lógicas tradicionales, con escaso valor agregado. Sin embargo, ello no implica automáticamente mayor justicia ambiental, pues su rol como proveedores de recursos también los expone a cargas ecológicas invisibilizadas.

China representa un caso intermedio: combina un volumen elevado de importaciones con una eficiencia moderada y una huella ecológica creciente. Su situación como economía en transición plantea desafíos cruciales para la corresponsabilidad ecológica global, especialmente dada su centralidad en el comercio andino.

En suma, esta representación confirma que la eficiencia ecológica, en contextos globalizados, no garantiza sostenibilidad. Por el contrario, puede enmascarar desigualdades ecológicas profundas. La evidencia reafirma la hipótesis H4, al mostrar que el bienestar de los países consumidores se construye sobre bases ambientales no sostenibles, sostenidas por la apropiación de servicios ecosistémicos externos.

4.4.2 Dependencia estructural de biocapacidad externa

La **Tabla 5** presenta los índices de sostenibilidad ecológica interna (ISEI) y de dependencia de biocapacidad importada (EDBI) para los principales países importadores de recursos andinos. Estos indicadores permiten evaluar el grado en que las economías analizadas pueden sostener sus modelos de consumo con sus propios ecosistemas. Se construyeron dos indicadores clave.

Tabla 5. Análisis de sostenibilidad ecológica interna y dependencia externa de biocapacidad en países importadores (2025).

País	Huella ecológica (gha/cap)	Biocapacidad interna (gha/cap)	ISEI	EDBI
China	3.71	0.92	0.25	0.75
EE.UU.	8.04	3.45	0.43	0.57
India	1.19	0.43	0.36	0.64
Japón	4.70	0.60	0.13	0.87
Panamá	2.50	1.80	0.72	0.28
Vietnam	1.60	1.00	0.63	0.38

Fuente: Elaboración propia a partir de Global Footprint Network (2025).

Discusión:

En todos los países analizados, el ISEI se encuentra por debajo de 1, lo que confirma la existencia de déficits ecológicos estructurales: ninguna economía es autosuficiente en términos biofísicos. Japón (ISEI = 0.13) y China (0.25) son los casos más críticos, dependiendo en más de un 70 % de biocapacidad foránea para sostener sus modelos de vida. Estados Unidos, a pesar de su mayor biocapacidad interna, tampoco logra equilibrar su huella de consumo, mientras que Panamá y Vietnam se aproximan más a la autosuficiencia sin alcanzarla.

La dependencia de biocapacidad importada constituye un riesgo estratégico, especialmente en contextos de transición ecológica global y crecientes restricciones biofísicas. Desde una perspectiva de justicia ambiental, estos datos subrayan la urgencia de mecanismos que reconozcan las contribuciones netas de los países proveedores al equilibrio ecológico global.

Este hallazgo refuerza el objetivo 4 y la hipótesis H4, mostrando cómo el bienestar en los países consumidores se sustenta sobre flujos ocultos de servicios ecosistémicos externos.

4.4.3. Modelos causales de sostenibilidad y desarrollo humano en países consumidores

Para analizar la relación estructural entre presión ecológica, desigualdad socioeconómica y bienestar humano en los principales países importadores de recursos andinos, se estimaron modelos de regresión lineal múltiple para el periodo 2000–2022 (véase Tabla 6). El Índice de Desarrollo Humano (IDH) se utilizó como variable dependiente, mientras que las variables explicativas fueron la huella ecológica per cápita (gha/persona), el

coeficiente de Gini y la biocapacidad per cápita (gha/persona). Los modelos fueron validados mediante pruebas de normalidad, homocedasticidad y ausencia de colinealidad severa, garantizando su robustez estadística.

Tabla 6. Resultados de regresión múltiple por país: relación entre huella ecológica y desarrollo humano (2000–2022).

País	R ²	Variables significativas (p < 0.05)	Efecto estimado sobre IDH	Comentario General
China	0.60	Ninguna (cercano Gini, p = 0.09)	No significativo	Sin variables significativas; posible efecto del Gini no confirmado.
EE.UU.	0.67	Huella Ecológica (p = 0.0001)	Negativo	Huella reduce el IDH; modelo de alto consumo es insostenible.
India	0.67	Huella Ecológica (p = 0.0001)	Positivo	Huella mejora IDH; desarrollo aún depende de presión ecológica.
Japón	0.49	Huella Ecológica (p = 0.0058)	Negativo	Alta huella reduce el IDH; retornos decrecientes del crecimiento.
Panamá	0.60	Ninguna (todas p > 0.1)	No significativo	Ninguna variable significativa; modelo no explica el IDH.
Vietnam	0.66	Huella Ecológica (p = 0.0054)	Positivo	Huella aumenta IDH; patrón típico de economías en transición.

Fuente: Elaboración propia a partir de GFN (2024) y PNUD (2023).

Discusión.

Los resultados revelan que la huella ecológica constituye una variable estadísticamente significativa para explicar el IDH en cuatro de los seis países analizados, aunque con efectos opuestos según el nivel de desarrollo económico. En Estados Unidos y Japón, el efecto negativo indica que mayores niveles de presión ambiental están correlacionados con una reducción del desarrollo humano, lo que sugiere límites estructurales al crecimiento basado en consumo intensivo de recursos. En cambio, en India y Vietnam, el efecto positivo revela que el aumento en el uso de biocapacidad sigue generando mejoras tangibles en bienestar, en línea con fases tempranas de desarrollo.

China y Panamá no presentan variables significativas en el modelo, lo que podría reflejar la necesidad de incluir factores institucionales, tecnológicos o educativos no capturados por los indicadores utilizados. La biocapacidad per cápita y la desigualdad (Gini) no mostraron efectos significativos en la mayoría de los países, lo cual apunta a que, en las trayectorias de desarrollo actuales, los límites ecológicos internos y la equidad distributiva no están incidiendo de manera directa sobre el IDH.

Desde una perspectiva académica y profesional, estos hallazgos evidencian la heterogeneidad en las dinámicas entre sostenibilidad y bienestar. El desarrollo humano no está vinculado de forma homogénea a la presión ecológica, lo que exige enfoques diferenciados en el diseño de políticas ambientales. Mientras que algunos países enfrentan retornos decrecientes del crecimiento ecológicamente intensivo, otros aún dependen de dicho patrón para alcanzar estándares mínimos de calidad de vida. Por tanto, cualquier estrategia de corresponsabilidad ambiental global debe reconocer estas asimetrías estructurales y diseñar instrumentos que integren justicia ecológica, transición productiva y acceso equitativo al bienestar.

CAPÍTULO V: MARCO DE ANÁLISIS ESTRATÉGICO CONCLUYENTE

5. Introducción al marco estratégico

Los resultados de este estudio revelan una relación profundamente asimétrica entre los países de la Región Andina y los centros económicos del Norte Global. A pesar del rol crítico que desempeñan los primeros como proveedores de recursos naturales y servicios ecosistémicos clave, esta contribución no se ve reflejada ni en una mejora sustancial del bienestar humano local ni en esquemas compensatorios que reconozcan su esfuerzo ambiental. La deuda ecológica acumulada, el subsidio ambiental neto y los desequilibrios comerciales evidenciados en los capítulos anteriores confirman que el actual modelo de inserción internacional reproduce patrones de dependencia extractiva y apropiación de biocapacidad ajena.

En este contexto, se hace necesario construir un marco de análisis estratégico que permita no solo evaluar los mecanismos de compensación ambiental actualmente existentes, sino también proponer alternativas adaptadas al contexto andino, con base en principios de justicia ecológica y redistribución territorial. Este capítulo se estructura en tres secciones: en la primera, se realiza una evaluación crítica de tres mecanismos vigentes; en la segunda, se plantea una propuesta de compensación estructurada para la Región Andina; y en la tercera, se analiza la viabilidad política y técnica de su implementación, integrando una mirada personal y profesional desde una posición académica comprometida con la justicia ambiental.

5.1. Revisión crítica de mecanismos vigentes de compensación

a) Pagos por Servicios Ecosistémicos (PSE)

Los PSE han sido promovidos como instrumentos de conservación eficaces en contextos de alta presión sobre la biodiversidad. Sin embargo, su aplicación concreta revela desigualdades operativas. En Ecuador, el programa Socio Bosque, iniciado en 2008, otorgó pagos directos a comunidades que se comprometieron a conservar sus bosques nativos. Aunque benefició a más de 173 mil personas y protegió cerca de 1,6 millones de hectáreas, el programa fue desfinanciado tras cambios políticos en 2017, exponiendo su vulnerabilidad institucional y dependencia del presupuesto nacional (de Koning et al., 2011; Wunder et al., 2020).

En Perú, el programa MERESE en la cuenca del río Jequetepeque promovió acuerdos de conservación con comunidades altoandinas para preservar servicios hídricos. Aunque técnicamente sólido, presentó una cobertura limitada, escasa articulación con actividades extractivas como la minería, y débil inserción en marcos regulatorios. Estas limitaciones restringieron su capacidad como instrumento compensatorio estructural frente a externalidades ambientales derivadas del comercio internacional (Rodríguez Mauricio & Castro Obeso, 2022).

Ambos casos muestran que, si bien los PSE permiten visibilizar funciones ecológicas locales, carecen de alcance estructural y no operan como mecanismos de compensación por el comercio internacional. No vinculan directamente a los beneficiarios globales con los proveedores locales de servicios ecosistémicos.

b) Mercados de carbono (REDD+, ETS)

Los mecanismos de mercado han sido integrados en la arquitectura climática internacional como instrumentos de flexibilidad para reducir emisiones. Sin embargo, sus resultados han sido dispares. En Bolivia, el rechazo del Estado a participar en REDD+ se fundamentó en la crítica a la "mercantilización del bosque" y a la pérdida de soberanía territorial, pese a que algunas ONGs implementaron proyectos REDD+ piloto en Santa Cruz y Pando. Estos fueron limitados en escala y objeto de cuestionamientos por su escasa participación comunitaria y falta de reconocimiento de derechos territoriales indígenas (Andersen, 2012).

En contraste, Colombia sí participó activamente en REDD+, pero el proyecto REDD+ en

la región del Pacífico, implementado entre 2012 y 2021, enfrentó críticas por inequidades en la distribución de los beneficios. Aunque se generaron créditos de carbono vendidos en mercados voluntarios, las comunidades afrodescendientes involucradas reportaron falta de claridad en los contratos y beneficios monetarios muy por debajo de los ingresos generados por las empresas comercializadoras (Dávalos & Holmes, 2022).

Estos casos evidencian que, en la práctica, los mercados de carbono operan con una lógica de offsetting sin corregir la deuda ecológica. Más aún, suelen reproducir relaciones de desigualdad entre el Norte financiador y el Sur implementador, sin transformar la estructura del intercambio.

c) Certificaciones ambientales en cadenas de valor

Las certificaciones como FSC (Forest Stewardship Council) o FairTrade buscan integrar criterios de sostenibilidad ambiental y social en los procesos productivos. En el caso del café en Perú, por ejemplo, más de 50 cooperativas andinas están certificadas bajo FairTrade, lo cual les permite acceder a mercados internacionales con mejores precios y condiciones (Ruben, & Fort, 2012). No obstante, estudios recientes han demostrado que el sobreprecio es insuficiente para cubrir los costos de transición ecológica y que la carga administrativa de la certificación recae de forma desigual sobre los pequeños productores (Raynolds & Bennett, 2015).

En el caso de la madera certificada FSC en Bolivia, un programa inicialmente exitoso en los años 2000 perdió vigencia al no poder sostener la demanda internacional ni competir con madera ilegal más barata. El modelo colapsó en varias regiones ante la falta de incentivos económicos reales, demostrando que la trazabilidad no garantiza sostenibilidad si no se acompaña de mecanismos de compensación estructurales (Gritten et al., 2013).

En síntesis, aunque estas certificaciones mejoran prácticas locales, su impacto redistributivo es limitado y no se alinean con el reconocimiento de la deuda ecológica global ni con mecanismos de transferencia financiera compensatoria.

5.2. Propuesta estructurada de compensación ecológica andina

A la luz de los hallazgos de este estudio y de las limitaciones identificadas en los mecanismos vigentes, se propone una estrategia de compensación estructurada específicamente diseñada para el contexto andino. Esta propuesta busca internalizar la

deuda ecológica acumulada a través de un instrumento operativo regional, fundamentado en los principios de justicia ambiental, redistribución ecológica y corresponsabilidad internacional. El objetivo no es sustituir los mecanismos existentes, sino complementarlos con un modelo político-institucional robusto que permita transitar hacia una arquitectura compensatoria más justa, eficaz y alineada con los intereses de los países proveedores de bienes comunes globales.

a) Principios normativos

El marco propuesto se sustenta en dos principios:

- 1. Quien se beneficia, compensa:** este principio establece que los países o actores económicos que se apropian de servicios ecosistémicos ajenos deben asumir responsabilidades redistributivas proporcionales al impacto generado. Alineado con el principio de "responsabilidades comunes pero diferenciadas" del Acuerdo de París (Rajamani & Werksman, 2018), se reformula aquí con un enfoque no solo climático, sino también comercial y territorial.
- 2. Redistribución ecológica condicionada:** plantea que las transferencias compensatorias no deben ser meramente voluntarias, sino institucionalizadas y sujetas a condiciones de transparencia, eficiencia ambiental y participación comunitaria.

Estos principios se orientan a fortalecer la soberanía ecológica regional y a canalizar los beneficios globales hacia quienes sostienen los territorios más presionados por el extractivismo.

b) Instrumento de Compensación Ambiental Sur-Sur (ICASS)

Se propone crear el Instrumento de Compensación Ambiental Sur-Sur (ICASS) como un fondo operativo regional, coordinado inicialmente por los países miembros de la Comunidad Andina (CAN), en alianza con la CEPAL, el PNUMA y fondos verdes multilaterales. Su diseño se estructuraría en tres niveles:

- 1. Módulo de cálculo y monitoreo de deuda ecológica:** utilizando datos armonizados de huella ecológica, uso de suelo, emisiones de carbono y presión hídrica. Esta base permitiría estimar anualmente el subsidio ambiental neto por país y por sector exportador, generando reportes comparables.

- 2. Módulo financiero de compensación:** captaría recursos provenientes de contribuciones diferenciadas de países importadores (según su nivel de apropiación ecológica) y de empresas transnacionales activas en sectores intensivos (minería, agroindustria, energía). El modelo puede incorporar mecanismos como tasas ecológicas sobre exportaciones, aportes empresariales voluntarios certificados, o incluso transferencias compensatorias vinculadas a tratados comerciales bilaterales o regionales.
- 3. Módulo de aplicación territorial:** el ICASS financiaría exclusivamente proyectos en territorios andinos afectados por pasivos ecológicos históricos. Entre ellos, programas de restauración ecosistémica, diversificación económica postextractiva, fortalecimiento de capacidades locales en gobernanza ambiental, y sistemas comunitarios de monitoreo ambiental. Todos los proyectos incluirían participación vinculante de las poblaciones locales y evaluación socioambiental independiente.

c) Modelo de implementación gradual y piloto

Para facilitar su viabilidad institucional y política, se propone una implementación gradual del ICASS, a través de proyectos piloto sectoriales. Esta estrategia responde a la necesidad de construir legitimidad progresiva y generar evidencia operativa, evitando la parálisis que suele acompañar las reformas estructurales ambiciosas.

- 1. Etapa 1 – Proyectos piloto binacionales o trinacionales:** se podría iniciar con sectores clave como la minería de cobre (Perú y Chile) o el cultivo de palma aceitera (Colombia y Ecuador). Estos pilotos servirían como laboratorios institucionales para definir los métodos de cálculo de impactos, establecer criterios de asignación de fondos y validar sistemas de auditoría ecológica.
- 2. Etapa 2 – Consolidación normativa regional:** a partir de los resultados de los pilotos, los países participantes establecerían un protocolo regional de compensación ecológica y una arquitectura jurídica básica (acuerdo multilateral andino) para institucionalizar el ICASS como mecanismo permanente.
- 3. Etapa 3 – Inserción en agendas multilaterales:** con base en la experiencia acumulada, se impulsaría el reconocimiento del ICASS en foros como la COP, la Asamblea General de la ONU y el Comité de Expertos sobre Financiación del Desarrollo Sostenible, presentándolo como una experiencia Sur-Sur exitosa de

justicia ambiental reparativa.

Esta lógica incremental permite ajustar la estrategia a los márgenes de acción política disponibles, generar alianzas estratégicas y construir un relato político coherente con las exigencias del desarrollo sostenible.

d) Condicionalidad ecológica positiva

Como mecanismo complementario, se propone el establecimiento de un estándar de contribución ecológica justa, que funcione como un criterio transversal para acceder a ventajas arancelarias, financiamiento climático y licitaciones internacionales. Este estándar debería ser adoptado por organismos regionales y multilaterales como parte de sus cláusulas de comercio justo ambiental. Incluiría los siguientes elementos:

- **Transparencia en la apropiación de servicios ecosistémicos:** exigencia de auditorías ambientales para empresas con alto impacto en cadenas de valor globales.
- **Contribución efectiva al ICASS o mecanismos equivalentes:** como prerrequisito para certificar responsabilidad ambiental corporativa.
- **Prohibición de externalidades no compensadas:** en los marcos jurídicos de contratación pública o licencias ambientales internacionales.

Esta condicionalidad introduce un incentivo institucional claro para que los actores económicos asuman compromisos con la justicia ecológica, más allá del voluntarismo o el greenwashing.

5.3. Viabilidad política, técnica y reflexión profesional

Desde el punto de vista técnico, la estrategia propuesta es plenamente viable. Las herramientas de estimación de deuda ecológica utilizadas en este estudio se basan en fuentes consolidadas y metodologías replicables. La existencia de bases de datos como Ecoinvent, FAOSTAT o el Global Footprint Network permite actualizar periódicamente los valores de referencia y generar estimaciones confiables. La experiencia acumulada por programas REDD+ o PSE también aporta insumos operativos sobre mecanismos de transferencia, verificación y monitoreo.

En el plano político, la viabilidad presenta obstáculos considerables, pero también oportunidades. La resistencia de los países desarrollados a asumir responsabilidades históricas ha sido un factor constante en las negociaciones climáticas. Sin embargo, el contexto internacional ha comenzado a cambiar. La decisión de establecer un fondo de pérdidas y daños en la COP27 (UNFCCC, 2020) abre una ventana de oportunidad para insertar el debate sobre deuda ecológica en agendas multilaterales.

Una vía pragmática para avanzar en esta dirección podría ser la implementación progresiva del ICASS en forma de proyectos piloto coordinados entre dos o tres países andinos. Estos proyectos podrían centrarse inicialmente en sectores clave como la minería o la agroexportación (por ejemplo, el cobre en Perú y Chile, o la palma aceitera en Colombia y Ecuador), estableciendo mecanismos de monitoreo de impactos ecológicos netos y ensayando formatos de compensación directa financiados por corporaciones importadoras. Esto permitiría acumular evidencia operativa y ajustar el modelo antes de escalarlo a nivel regional.

Además, es estratégico insertar esta propuesta en foros multilaterales existentes donde los países de la Región Andina ya tienen presencia activa. El Consejo de Derechos Humanos de la ONU, que recientemente reconoció el derecho humano a un medio ambiente sano, o el Acuerdo de Escazú, con su énfasis en justicia ambiental y participación pública, constituyen plataformas idóneas para posicionar el concepto de deuda ecológica como un problema de derechos. Asimismo, la participación activa en la Conferencia Regional sobre Desarrollo Sostenible de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2018) permitiría alinear esta estrategia con los compromisos de la Agenda 2030, especialmente con el ODS 12 (consumo y producción responsables) y el ODS 13 (acción climática).

Finalmente, creo que como joven profesional y ciudadano de un país proveedor de bienes comunes globales, mi responsabilidad no es solo técnica sino también ética. Este trabajo no es un ejercicio teórico: es una declaración de principios y una hoja de ruta. Las soluciones existen, pero requieren compromisos valientes. Mi convicción es que, si el Sur Global logra hablar con una voz coordinada y sustentar sus demandas en datos, evidencias y principios de justicia, podrá incidir con mayor fuerza en la reconfiguración del orden ecológico global.

LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio ha desarrollado un enfoque cuantitativo riguroso para analizar las relaciones entre presión ecológica, desarrollo humano y desigualdad en el contexto del comercio internacional de recursos naturales entre la Región Andina y países del Norte Global. Se utilizaron modelos de regresión lineal múltiple para explorar correlaciones estructurales con datos ambientales y socioeconómicos comparables. Aunque los resultados son consistentes, un análisis econométrico más profundo —incluyendo pruebas de estacionariedad y cointegración— enriquecería futuros estudios, considerando la naturaleza temporal de los datos. Aun así, este ejercicio ofrece una base válida para interpretar patrones relevantes y comparar dinámicas entre países.

Asimismo, la disponibilidad de datos ambientales consistentes entre países y periodos impuso ciertos márgenes en la definición de indicadores, como el costo ambiental unitario o la eficiencia ecológica agregada. Pese a ello, se aplicaron supuestos conservadores respaldados por literatura científica de referencia, lo que permitió mantener coherencia metodológica sin comprometer la comparabilidad. Finalmente, aunque factores como marcos institucionales, impactos culturales o regulaciones locales no fueron incorporados en detalle, su integración podría enriquecer futuras aproximaciones mixtas y abrir nuevas líneas de investigación sobre justicia ambiental, deuda ecológica y mecanismos compensatorios en contextos de alta asimetría global.

Se recomienda que futuras investigaciones desarrollen modelos econométricos más adaptados a las realidades estructurales de los países andinos y sus socios comerciales. La inclusión de variables como el régimen institucional, la apertura económica, los conflictos socioambientales o el acceso a tecnologías limpias enriquecería el análisis del intercambio ecológicamente desigual. Asimismo, enfoques híbridos que integren métodos cuantitativos, análisis espacial y estudios de caso cualitativos mejorarían la interpretación de resultados. Estas estrategias contribuirían a formular mecanismos de compensación ambiental más justos, efectivos y alineados con los compromisos internacionales de sostenibilidad ecológica y equidad estructural.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido identificar y analizar con profundidad las múltiples dimensiones del intercambio ecológicamente desigual entre la Región Andina y el Norte Global. A través de metodologías rigurosas y una base teórica crítica, se ha demostrado que las dinámicas comerciales internacionales no son meramente económicas, sino que configuran una arquitectura estructural de apropiación de biocapacidad que perpetúa la deuda ecológica y restringe el bienestar de los países proveedores. En lo que sigue, se presentan las principales conclusiones en función de los cinco objetivos específicos propuestos:

1. Sobre la caracterización de los flujos exportadores de recursos y servicios ecosistémicos

Se concluye que los países andinos mantienen una estructura exportadora concentrada en productos de alta intensidad ecológica como petróleo, cobre, oro y soya, destinados en su mayoría al Norte Global. Esta especialización se inserta en una lógica extractiva que prioriza el volumen físico sobre el valor agregado, reproduciendo patrones de dependencia económica y ecológica. Además, se constata que estos flujos no integran mecanismos robustos de trazabilidad ambiental ni contemplan una valoración integral de los servicios ecosistémicos involucrados, lo que invisibiliza sus costos reales para los territorios proveedores.

2. Sobre el déficit ecológico y su relación con el bienestar humano en la Región Andina

Los resultados muestran que todos los países analizados presentan un déficit ecológico estructural sostenido, producto de una presión antropogénica superior a su biocapacidad. Se observa, además, una correlación negativa entre el aumento del déficit ecológico y ciertos indicadores de bienestar, particularmente en zonas rurales y comunidades vulnerables. Esta relación evidencia que el crecimiento económico basado en la extracción no garantiza mejoras sostenidas en calidad de vida, y que la pérdida de servicios ecosistémicos locales puede tener efectos regresivos sobre el desarrollo humano.

3. Sobre la cuantificación de la deuda y la eficiencia ecológicas del comercio exterior

La deuda ecológica estimada supera ampliamente los beneficios económicos netos de las exportaciones andinas. Este hallazgo confirma que el comercio internacional reproduce una forma de subsidio ambiental no remunerado, trasladando pasivos ecológicos a los países exportadores. Asimismo, se revela que la eficiencia ecológica del comercio exterior es baja: los ingresos generados por unidad de impacto ambiental son reducidos, particularmente en el caso de Perú y Bolivia, lo que acentúa la vulnerabilidad económica y ecológica de estos países.

4. Sobre la relación entre el bienestar de los países importadores y la apropiación de biocapacidad externa

Se demuestra que buena parte del bienestar alcanzado en países desarrollados se sostiene a partir de la apropiación sistemática de servicios ecosistémicos externos, evidenciado por sus huellas ecológicas elevadas y su dependencia neta de biocapacidad foránea. Esta dependencia no solo genera presiones ecológicas invisibilizadas en los territorios proveedores, sino que pone en entredicho la equidad interregional del desarrollo global. Además, se comprueba que la relación entre bienestar y sostenibilidad no es lineal: existen retornos decrecientes del crecimiento basado en consumo ecológicamente intensivo, lo que refuerza la necesidad de modelos alternativos de prosperidad.

5. Sobre los mecanismos de compensación ambiental y las propuestas hacia la equidad ecológica

El análisis crítico de mecanismos internacionales existentes —como los Pagos por Servicios Ecosistémicos, los mercados de carbono y las certificaciones ambientales— demuestra que, si bien han logrado avances puntuales, su cobertura, escala y articulación estructural son insuficientes para corregir la inequidad ecológica global. La propuesta de un Instrumento de Compensación Ambiental Sostenible y Solidario (ICASS), basada en el principio de corresponsabilidad diferenciada, representa una alternativa viable e innovadora. Su implementación piloto en contextos subnacionales permitiría evaluar su eficacia operativa y su potencial de escalamiento, contribuyendo a la institucionalización de un marco de compensación más justo.

REFERENCIAS

1. Andersen, L. E. (2012). *El dilema REDD+ en Bolivia y la construcción de mecanismos alternativos para reducir la deforestación*. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo (INESAD). Recuperado de <https://acortar.link/S147kj>
2. Banco Mundial. (2023). *Commodity Markets Outlook, October 2023: Under the Shadow of Geopolitical Risks*. <https://hdl.handle.net/10986/40363>
3. Banco Mundial. (2024). *Situación y tendencias de la fijación del precio del carbono 2024*. <https://acortar.link/U4rQt6>
4. Banco Mundial. (2025). *Indicadores de desarrollo mundial*. <https://datos.bancomundial.org/>
5. Bebbington, A., Humphreys Bebbington, D., Sauls, L., Rogan, J., Agrawal, S., Gamboa, C., & Verdum, R. (2018). Resource extraction and infrastructure threatens forest cover and community rights. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(52), 13164-13173. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812505115>
6. Bruckner, B., Shan, Y., Prell, C., & Hubacek, K. (2023). Ecologically unequal exchanges driven by EU consumption. *Nature Sustainability*, 6, 587–598. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01055-8>
7. CEPAL. (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago: CEPAL <https://acortar.link/N7fi77>
8. Chakraborty, A., Reisch, T., Diem, C., & Thurner, S. (2021). Inequality in economic shock exposures across the global firm-level supply network. *Nature Communications*, 12, 1–9. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.00415>
9. Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
10. Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
11. Dávalos, L., & Holmes, G. (2022). Carbon markets and conservation in Colombia: Between expectations and exploitation. *Geoforum*, 128, 74–84.

<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.12.007>

12. de Koning, F., Aguiñaga, M., Bravo, M., Chiu, M., Lascano, M., Lozada, T., & Suarez, L. (2011). Bridging the gap between forest conservation and poverty alleviation: The Ecuadorian Socio Bosque program. *Environmental Science & Policy*, 14(5), 531–542. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.04.007>
13. Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H., Guèze, M., Agard, J., & Zayas, C. (2019). The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/116171>
14. Dorninger, C., Hornborg, A., Abson, D., Von Wehrden, H., Schaffartzik, A., Giljum, S., & Wieland, H. (2021). Global patterns of ecologically unequal exchange: Implications for sustainability in the 21st century. *Ecological economics*, 179, 106824. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106824>
15. Fanning, A., O'Neill, D., Hickel, J., & Roux, N. (2022). The social shortfall and ecological overshoot of nations. *Nature sustainability*, 5(1), 26-36. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00799-z>
16. Fischer-Kowalski, M., & Schaffartzik, A. (2015). Energy availability and energy sources as determinants of societal development in a long-term perspective. *MRS Energy & Sustainability*, 2, E1. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.05.002>
17. Global Footprint Network. (2025). *Open Data Platform*. <https://data.footprintnetwork.org/>
18. Gritten, D., Mola-Yudego, B., Delgado-Matas, C., & Kortelainen, J. (2013). A quantitative review of the representation of forest conflicts across the world: Resource periphery and forest conflicts. *Forest Policy and Economics*, 33, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.04.004>
19. Gudynas, E. I. a. (2020). *Extractivisms politics, economy and ecology*. Nova Scotia, Canada Fernwood Publishing. <https://acortar.link/S147kj>
20. Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Brockway, P., & Creutzig, F. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. *Environmental research letters*, 15(6), 065003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab842a>
21. Harvard Growth Lab (2025). *Atlas of Economic Complexity*. Harvard University. <https://atlas.cid.harvard.edu>
22. Hickel, J., Dorninger, C., Wieland, H., & Suwandi, I. (2022). Imperialist appropriation in the world economy: Drain from the global South through unequal

- exchange, 1990–2015. *Global environmental change*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102467>
23. Hornborg, A. (2009). Zero-sum world: Challenges in conceptualizing environmental load displacement and ecologically unequal exchange in the world-system. *International Journal of Comparative Sociology*, 50(3–4), 237–262. <https://doi.org/10.1177/0020715209105141>
 24. International Energy Agency (IEA). (2022). World Energy Outlook 2022. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
 25. IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4: Forest Land*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://acortar.link/jXEj64>
 26. IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://acortar.link/zumJgw>
 27. Martínez-Alier, J. (2002). The Environmentalism of the poor: a study of ecological conflicts and valuation. In *The Environmentalism of the Poor*. Edward Elgar Publishing. <https://www.elgaronline.com/monobook/9781840649093.xml>
 28. Milanovic, B. (2019). *Capitalism, alone: The future of the system that rules the world*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674242852>
 29. Nordhaus, W. D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1518–1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
 30. O'Neill, D., Fanning, A., Lamb, W., & Steinberger, J. (2018). A good life for all within planetary boundaries. *Nature Sustainability*, 1(2), 88–95. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>
 31. Pascual, U., Balvanera, P., Anderson, C., Chaplin-Kramer, R., Christie, M., González-Jiménez, D., ... & Zent, E. (2023). Diverse values of nature for sustainability. *Nature*, 620(7975), 813–823. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06406-9>
 32. Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., & Maris, V. (2017). Valuing nature's contributions to people: The IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26–27, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
 33. Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y

- Servicios de los Ecosistemas (IPBES). (2019). *Resumen para responsables de políticas del Informe de Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas*. <https://ipbes.net/global-assessment>
34. Rajamani, L., & Werksman, J. (2018). The legal character and operational relevance of the Paris Agreement's temperature goal. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2119), 20160458. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0458>
 35. Raworth, K. (2018). *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st century economist*. Chelsea Green Publishing. <https://acortar.link/4mFvox>
 36. Reynolds, L., & Bennett, E. (Eds.). (2015). *Handbook of Research on Fair Trade*. Edward Elgar Publishing. <https://acortar.link/cg9xa0>
 37. Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S., Donges, J., & Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
 38. Rivera-Basques, L., Duarte, R., & Sánchez-Chóliz, J. (2021). Unequal ecological exchange in the era of global value chains: The case of Latin America. *Ecological Economics*, 180, 106881. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106881>
 39. Rodríguez Mauricio, D., & Castro Obeso, R. (2022). Valoración de la cuenca Jequetepeque para proponer mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos en Perú. *Región y Sociedad*, 34, e1655. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1655>
 40. Ruben, R., & Fort, R. (2012). The impact of fair trade certification for coffee farmers in Peru. *World development*, 40(3), 570-582. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.07.030>
 41. Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J., Sheil, D., Meijaard, E., & Buck, L. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 8349-8356. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210595110>
 42. Schlosberg, D., & Collins, L. B. (2014). From environmental to climate justice: climate change and the discourse of environmental justice. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(3), 359-374. <https://doi.org/10.1002/wcc.275>
 43. Sovacool, B. K., Hook, A., Martiskainen, M., Brock, A., & Turnheim, B. (2020). The decarbonisation divide: Contextualizing landscapes of low-carbon exploitation and toxicity in Africa. *Global Environmental Change*, 60, 102028. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102028>

44. Sukhdev, P., Wittmer, H., & Miller, D. (2014). The economics of ecosystems and biodiversity (TEEB): challenges and responses. *Nature in the balance: the economics of biodiversity*, 135-152. <https://acortar.link/iJancE>
45. Sultana, F. (2022). Critical climate justice. *The Geographical Journal*, 188(1), 118-124. <https://doi.org/10.1111/geoj.12417>
46. Svampa, M. (2019). *Neo-extractivism in Latin America: Socio-environmental conflicts, the territorial turn, and new political narratives*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108752589>
47. Temper, L., Del Bene, D., & Martínez-Alier, J. (2015). Mapping the frontiers and front lines of global environmental justice: the EJAtlas. *Journal of Political Ecology*, 22(1), 255-278. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0563-4>
48. Temper, L., Demaria, F., Scheidel, A., Del Bene, D., & Martínez-Alier, J. (2018). The Global Environmental Justice Atlas (EJAtlas): Ecological distribution conflicts as forces for sustainability. *Sustainability Science*, 13(3), 573–584. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0563-4>
49. UNEP - United Nations Environment Programme (2021). Making Peace with Nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies. Nairobi. <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>
50. UNFCCC. (2022, 20 de noviembre). *COP27 alcanza un acuerdo histórico sobre un nuevo fondo de pérdidas y daños para países vulnerables*. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <https://acortar.link/kaW5UQ>
51. Walker, S, Smith, E. A., Bennett, N., Bannister, E., Narayana, A., Nuckols, T., & Bailey, K. (2024). Defining and conceptualizing equity and justice in climate adaptation. *Global Environmental Change*, 87, 102885. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102885>
52. Warlenius, R. (2016). Linking ecological debt and ecologically unequal exchange: stocks, flows, and unequal sink appropriation. *Journal of Political Ecology*, 23(1), 364-380. <https://doi.org/10.2458/v23i1.20223>
53. Wiedmann, T., & Lenzen, M. (2018). Environmental and social footprints of international trade. *Nature Geoscience*, 11(5), 314-321. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0113-9>
54. Wunder, S., Börner, J., Ezzine-de-Blas, D., Feder, S., & Pagiola, S. (2020). Payments for environmental services: Past performance and pending potentials. *Annual Review of Resource Economics*, 12(1), 209-234. <https://acortar.link/McLBKZ>

ANEXO 1. Estructura completa del proceso de formulación del TFM.

Objetivo General	Objetivos específicos	Preguntas Específicas	Hipótesis Específicas
<p>Analizar cómo los flujos de recursos naturales y servicios ecosistémicos desde la Región Andina hacia el Norte Global configuran relaciones de intercambio ecológicamente desigual, generando déficit y deuda ecológica, afectando el bienestar humano en ambas regiones y evaluando mecanismos de compensación ambiental orientados a la equidad ecológica.</p>	<p>1. Caracterizar los principales flujos de exportación de recursos naturales y servicios ecosistémicos desde la Región Andina y su relación con la estructura económica-ecológica regional.</p>	<p>1. ¿Qué recursos naturales y servicios ecosistémicos exporta principalmente cada país andino y cómo se relacionan con su modelo de inserción económica?</p>	<p>1. Una mayor intensidad exportadora de bienes naturales está asociada con una mayor dependencia económica y ecológica en los países andinos.</p>
	<p>2. Evaluar el déficit ecológico en los países andinos y su relación con indicadores de bienestar humano, como el IDH y otras métricas de calidad de vida</p>	<p>2. ¿Existe una relación significativa entre la pérdida de biocapacidad y el deterioro del bienestar humano en los países andinos?</p>	<p>2. La disminución de la biocapacidad se asocia a trayectorias de desarrollo humano menos sostenibles, con patrones variables entre países andinos.</p>
	<p>3. Cuantificar la deuda ecológica acumulada y la eficiencia ecológica del comercio exterior de la Región Andina.</p>	<p>3. ¿Cuál es el valor estimado de la deuda ecológica generada por las exportaciones andinas y qué magnitud de subsidio ambiental implica?</p>	<p>3. La deuda ecológica derivada de las exportaciones andinas supera el valor económico recibido, lo que evidencia un subsidio ambiental neto hacia los países importadores.</p>
	<p>4. Analizar cómo el bienestar de los países importadores se sostiene mediante huellas ecológicas elevadas y dependencia de biocapacidad externa.</p>	<p>4. ¿En qué medida el bienestar de los países desarrollados se sostiene por el consumo de recursos andinos y la apropiación de biocapacidad externa?</p>	<p>4. El bienestar económico de los países importadores se sostiene mediante patrones de consumo que intensifican su huella ecológica y dependen de biocapacidad externa.</p>
	<p>5. Evaluar la suficiencia de los mecanismos internacionales de compensación ambiental y proponer alternativas basadas en justicia ecológica.</p>	<p>5. ¿Son adecuados los mecanismos actuales de compensación ambiental para corregir la inequidad ecológica derivada del comercio internacional?</p>	<p>5. Los mecanismos actuales de compensación ambiental son insuficientes para internalizar la deuda ecológica, lo que exige esquemas redistributivos basados en justicia ecológica y corresponsabilidad.</p>

Objetivos específicos	Título de metodología	Subtítulos de metodología	Títulos de resultados	Subtítulos de resultados
1. Caracterizar los principales flujos de exportación de recursos naturales y servicios ecosistémicos desde la Región Andina y su relación con la estructura económica-ecológica regional.	3.1. Mapeo de flujos comerciales y dependencia ecológica andina	3.1.1. Mapeo de flujos de dependencia comerciales	4.1. Estructura exportadora y externalización de servicios ecosistémicos	4.1.1. Concentración exportadora y patrón de inserción extractiva
		3.1.2. Estimación de la provisión ecosistémica de captura de carbono		4.1.2. Valoración del servicio de captura de carbono.
		3.1.3. Cálculo del Índice de Intensidad Económica (IIE)		4.1.3. Estimación del Índice de Intensidad Económica (IIE)
2. Evaluar el déficit ecológico en los países andinos y su relación con indicadores de bienestar humano, como el IDH y otras métricas de calidad de vida	3.2. Evaluación del balance ecológico y su relación con el desarrollo humano	3.2.1. Cálculo del déficit ecológico y vinculación con el bienestar	4.2. Desajuste entre biocapacidad y desarrollo humano	4.2.1. Clasificación regional según equilibrio ecológico
		3.2.2. Análisis de trayectorias temporales de sostenibilidad y bienestar		4.2.2. Evolución de trayectorias temporales de sostenibilidad y bienestar
		3.2.3. Modelización causal del bienestar socioambiental		4.2.3. Evidencia de trampa ecológica en países con superávit y bajo bienestar
3. Cuantificar la deuda ecológica acumulada y la eficiencia ecológica del comercio exterior de la Región Andina.	3.3. Estimación monetaria de deuda ecológica y eficiencia del comercio	3.3.1. Análisis geográfico del comercio de recursos y externalidades	4.3. Costos ocultos del comercio y subsidios ecológicos netos	4.3.1. Mapeo de destinos de exportación y concentración de la demanda internacional
		3.3.2. Cálculo de la deuda ecológica como externalidad estructural		4.3.2. Estimación del subsidio ecológico neto hacia importadores
		3.3.3. Evaluación de la eficiencia ecológica de las exportaciones		4.3.3. Análisis de eficiencia ecológica por recurso estratégico
4. Analizar cómo el bienestar de los países importadores se sostiene mediante huellas ecológicas elevadas y dependencia de biocapacidad externa.	3.4. Análisis y presión ecológica en países importadores	3.4.1. Relación multivariable de presión ecológica, ingreso y eficiencia de recursos	4.4. Inequidad ecológica y eficiencia de recursos importados	4.4.1. Índices compuestos de sostenibilidad y presión ecológica
		3.4.2. Cálculo del IESI y EDBI		4.4.2. Dependencia estructural de biocapacidad externa
		3.4.3. Modelización causal de sostenibilidad y bienestar en economías importadoras		4.4.3. Modelos causales de sostenibilidad y desarrollo humano en países consumidores
5. Evaluar la suficiencia de los mecanismos internacionales de compensación ambiental y proponer alternativas basadas en justicia ecológica.	3.5. Análisis crítico de mecanismos internacionales de compensación	3.5.1. Delimitación del enfoque y criterios de análisis	5. Análisis estratégico concluyente	5.1. Revisión crítica de mecanismos vigentes de compensación
		3.5.2. Fundamento metodológico para la propuesta de compensación		5.2. Propuesta estructurada de compensación ecológica andina
				5.3. Viabilidad política, técnica y reflexión profesional