

Desigualdad Social y Crisis Ambiental en Colombia:
Un Análisis Socioecológico del Desequilibrio Estructural (1980–2023)

Andrea Natalia Casallas Camargo
Trabajo de grado presentado para optar al título de Economista

Trabajo dirigido por:
Profesor Fernando Estrada Gallego
Magíster en Filosofía de la Ciencia

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ciencias Humanas
Escuela de Economía y Administración
Programa de Economía
Bucaramanga

2026

Agradecimientos

A mis padres, en especial por su apoyo incondicional, por creer siempre en mí y por enseñarme que el esfuerzo y la disciplina son el camino hacia cualquier objetivo. Especialmente a mi madre, por su amor inmenso, por estar en las circunstancias más difíciles y por ser el mayor ejemplo de fortaleza y dedicación.

A todos mis amigos y a todas aquellas personas que me acompañaron en este proceso, por su paciencia, sus palabras de aliento, por recordarme que se forjan los sueños con el apoyo de quien cree en uno.

Al profesor Fernando Estrada Gallego, por su dedicación y orientación, y por su exigencia académica, que lograron crear un espacio para consolidar esta investigación con rigor y claridad.

A la Universidad Industrial de Santander, por ser el espacio donde tengo la oportunidad de crecer personal y profesionalmente, y por darme las herramientas necesarias para aportar sentido crítico y compromiso social a este trabajo.

Contenido

1	Objetivos de la investigación.....	4
1.1	Objetivo General.....	4
1.2	Objetivos Específicos	4
2	Marco Teórico	6
2.1	El conflicto ambiental como rasgo estructural del crecimiento económico	8
2.2	Extractivismo, territorialización del deterioro e inercia ambiental	13
2.3	Metabolismo social, crecimiento económico y reproducción del desequilibrio 20	
2.4	Ecología-mundo, capitalismo y la imposibilidad estructural del equilibrio ..	24
2.5	Síntesis conceptual: el desequilibrio socioecológico como resultado estructural	31
3	Metodología de la Investigación.....	35
3.1	Datos.....	35
3.2	Variables	41
3.3	Diseño del modelo econométrico.....	43
4	Resultados Econométricos y Análisis Empírico	57
4.1	Hechos estilizados y patrones descriptivos de las variables (1980–2023)....	58
4.2	Propiedades de las series temporales y decisión de modelación.....	68
4.3	Modelación ARDL: diagnóstico de la dinámica y evaluación de relaciones en niveles	74
4.4	Cointegración prueba de límites (Bounds Test).....	80
4.5	Funciones empíricas y términos de corrección del error.....	83
4.6	Lectura socioecológica de los resultados.....	87
4.7	Síntesis e implicaciones	89

4.8	Pruebas de causalidad y tratamiento de la endogeneidad	90
4.9	Pruebas de causalidad de Granger.....	95
4.10	Análisis de las variables no incluidas en los modelos econométricos	98
4.11	Conclusión del análisis estructural.....	104
5	Discusión y Conclusiones.....	107
6	Referencias bibliográficas	110
7	APÉNDICE A.....	113

Tablas

Tabla 1.....	37
Tabla 2.....	39
Tabla 3.....	43
Tabla 4.....	58
Tabla 5.....	70
Tabla 6.....	72
Tabla 7.....	77
Tabla 8.....	78
Tabla 9.....	78
Tabla 10.....	79
Tabla 11.....	81
Tabla 12.....	82
Tabla 13.....	91
Tabla 14.....	92
Tabla 15.....	93
Tabla 16.....	96
Tabla 17.....	105

Figuras

Figura 1 60

Figura 2 62

Figura 3 64

Figura 4 67

Resumen

Título: Desigualdad social y crisis ambiental en Colombia: un análisis socioecológico del desequilibrio estructural (1980–2023)

Autor: Andrea Natalia Casallas Camargo

Palabras clave: desigualdad social, crisis ambiental, desequilibrio estructural, modelos ARDL, metabolismo social, Colombia

Descripción: Esta investigación analiza la relación entre la desigualdad social y el deterioro ambiental en Colombia durante el período 1980–2023 desde una perspectiva socioecológica. El estudio cuestiona el supuesto tradicional según el cual el crecimiento económico conduce de manera automática a un equilibrio sostenible entre desarrollo, equidad y sostenibilidad ambiental. Para ello, se construyó una base de datos anual con indicadores distributivos, económicos, ambientales e institucionales provenientes de fuentes oficiales nacionales e internacionales como DANE, CEPAL, Banco Mundial, IDEAM, FAO, Global Footprint Network y ND-GAIN.

La metodología combina herramientas de economía ecológica y econometría aplicada mediante pruebas de raíces unitarias, modelos autorregresivos de rezagos distribuidos (ARDL), cointegración, modelos de corrección del error y causalidad de Granger. Los resultados muestran ausencia de cointegración robusta entre crecimiento económico, desigualdad y presión ambiental, evidenciando que el sistema socioecológico colombiano no converge hacia un equilibrio estable de largo plazo.

Adicionalmente, la persistencia de variables como la cobertura forestal y la presión ecológica indica la existencia de dinámicas acumulativas de deterioro territorial y ambiental. La investigación concluye que la desigualdad social y la crisis ambiental no representan desviaciones transitorias del sistema económico, sino manifestaciones estructurales asociadas a patrones históricos de extractivismo, concentración territorial y fragilidad institucional.

Abstract

Title: Social Inequality and Environmental Crisis in Colombia: A Socioecological Analysis of Structural Imbalance (1980–2023)

Author: Andrea Natalia Casallas Camargo

Key Words: social inequality, environmental crisis, structural imbalance, ARDL models, social metabolism, Colombia

Description: This research analyzes the relationship between social inequality and environmental degradation in Colombia during the period 1980–2023 from a socioecological perspective. The study challenges the traditional assumption that economic growth automatically leads to a sustainable balance between development, equity, and environmental sustainability. To address this issue, an annual database was constructed using distributive, economic, environmental, and institutional indicators obtained from official national and international sources, including DANE, ECLAC, the World Bank, IDEAM, FAO, the Global Footprint Network, and the ND-GAIN Index.

The methodology combines approaches from ecological economics and applied econometrics through unit root tests, autoregressive distributed lag (ARDL) models, cointegration analysis, error correction models, and Granger causality tests. The results show the absence of robust cointegration between economic growth, inequality, and environmental pressure, indicating that the Colombian socioecological system does not converge toward a stable long-term equilibrium.

Additionally, the persistence of variables such as forest cover and ecological pressure reveals the existence of cumulative dynamics of territorial and environmental degradation. The research concludes that social inequality and the environmental crisis are not temporary deviations within the economic system, but rather structural manifestations associated with historical patterns of extractivism, territorial concentration, and institutional fragility.

Introducción

Durante los últimos cuarenta años, la relación entre la desigualdad social y el deterioro ambiental se ha vuelto un tema central en las discusiones sobre desarrollo y sostenibilidad. Buena parte de la economía tradicional ha tratado este vínculo como si fuera un problema temporal, algo que eventualmente se corregirá con más crecimiento económico, avances tecnológicos o mejoras institucionales graduales. Desde esta perspectiva, se cree que el sistema, con el tiempo, alcanzará un equilibrio estable tanto social como ecológico.

Pero la historia reciente de países periféricos como Colombia pone en duda esa idea. En este país, los altos niveles de desigualdad en la distribución de la riqueza, el fuerte peso de las actividades extractivas en su economía y el aumento de la presión ambiental —concentrada en regiones con instituciones frágiles— han sido una constante. En lugar de corregir estos problemas, el crecimiento económico ha convivido con ellos, manteniéndolos e incluso profundizándolos.

Con base en este diagnóstico, esta investigación propone cambiar la forma en que se entiende el desarrollo y la sostenibilidad. En vez de buscar un equilibrio ideal entre crecimiento económico, distribución del ingreso y presión ambiental, se plantea analizar las razones estructurales por las que ese equilibrio no ha sido posible en Colombia entre 1980 y 2023. El enfoque se aleja de la idea de ajustes automáticos y se centra en las dinámicas acumulativas y las diferencias territoriales que han marcado al sistema socioecológico del país.

La investigación, basada en una perspectiva socioecológica que une aspectos de economía política, ecología política y economía ecológica, defiende que la crisis medioambiental y la

desigualdad no son meros fallos del sistema ni problemas temporales que se solucionan con pequeños ajustes. En realidad, son efectos de un modelo de desarrollo que se ha erigido a lo largo de la historia sobre los siguientes pilares: la explotación intensiva de recursos naturales, la centralización del poder en términos económicos y territoriales y el traspaso permanente de costos sociales y ecológicos a grupos vulnerables.

En este escenario, la desigualdad y el deterioro ambiental no solo tienen una relación de conexión, sino que también se alimentan mutuamente. Su persistencia indica que no hay mecanismos internos capaces de guiar al sistema hacia un camino sostenible a largo plazo por sí mismos.

Con respecto a la metodología, el estudio fusiona los análisis documentales con instrumentos econométricos, empleando datos anuales que incluyen variables económicas, sociales, institucionales y medioambientales de Colombia. Para establecer si las conexiones entre crecimiento económico, desigualdad y presión ambiental tienden a equilibrarse o, en cambio, muestran un desequilibrio estructural que perdura en el tiempo, se utilizan análisis de causalidad, modelos ARDL, pruebas de cointegración (Bounds Test) y modelos de corrección del error.

Lo que hace importante esta investigación es demostrar que la ausencia de equilibrio no constituye un error en los métodos, sino una señal fundamental para comprender el funcionamiento real del sistema socioecológico de Colombia. El estudio ofrece la posibilidad de reevaluar las políticas públicas al evidenciar que no existen medios internos para armonizar el crecimiento, la equidad y la sostenibilidad ambiental, y al enfatizar cómo algunas áreas geográficas, en particular aquellas impactadas por la deforestación, enfrentan dinámicas

acumulativas. Se sugiere que, en lugar de optar por soluciones superficiales, se avance hacia estrategias centradas en la justicia ambiental, la redistribución y una transformación estructural con perspectiva territorial.

1 Objetivos de la investigación.

1.1 Objetivo General

Analizar la relación entre la desigualdad social y el deterioro ambiental en Colombia durante el período 1980–2023, evaluando empíricamente la existencia o ausencia de relaciones estables a corto y largo plazo y explicando las condiciones estructurales que impiden la conformación de un equilibrio socioecológico mediante modelos ARDL y pruebas de cointegración.

1.2 Objetivos Específicos

- Articular un marco socioecológico que conecte la desigualdad social, la presión ambiental y la capacidad institucional, desde la economía política de la desigualdad, la ecología política y la economía ecológica.
- Construir una base de datos anual para Colombia (1980–2023) con indicadores distributivos, ambientales, económicos e institucionales, provenientes de fuentes oficiales nacionales e internacionales, garantizando la trazabilidad, la consistencia temporal y la comparabilidad de las series.
- Describir la evolución histórica y los patrones de correlación entre la desigualdad social y la presión ambiental, identificando rigideces distributivas, dinámicas acumulativas y diferencias territoriales.
- Estimar modelos autorregresivos de rezagos distribuidos (ARDL), modelos de corrección del error (ECM) y realizar pruebas de causalidad de Granger para evaluar si las dinámicas observadas convergen hacia relaciones estables o evidencian la ausencia de mecanismos endógenos de ajuste.

- Realizar pruebas de robustez mediante sustitución de variables, exclusión de interpolaciones y análisis por submuestras, con el fin de verificar la estabilidad de los resultados empíricos.
- Interpretar los hallazgos empíricos bajo el enfoque de la desigualdad socioecológica, derivando implicaciones de política orientadas a la justicia ambiental, la redistribución y la transformación estructural con enfoque territorial

2 Marco Teórico

Históricamente, la discusión acerca de la relación entre las variables de crecimiento económico, desigualdad social y deterioro ambiental ha sido siempre dominada por enfoques que nos permiten suponer la existencia de mecanismos endógenos de corrección que logren llevar a un equilibrio socio-económico y ecológico de largo plazo. Desde esta línea, se entiende que los problemas ambientales son externalidades temporales que podrían corregirse mediante señales de precios, innovación tecnológica o mejoras institucionales con el fin de lograr un crecimiento compatible con la equidad y la sostenibilidad.

Ahora bien, esta suposición se vuelve difícil de sostener cuando miramos de cerca la realidad de las economías periféricas. En estos contextos, donde hay una fuerte desigualdad en la distribución de la riqueza, una economía centrada en la extracción de recursos naturales y grandes diferencias entre regiones, la historia y los datos muestran algo claro: el crecimiento económico no ha servido como un mecanismo automático para corregir los problemas sociales y ambientales. Más bien, ha ido acompañado de una constante concentración del ingreso, uso intensivo de la naturaleza y deterioro de los territorios. Por eso, la idea de que el sistema, por sí solo, tiende a un equilibrio socioecológico necesita ser cuestionada con seriedad.

Este capítulo presenta el marco teórico que fundamenta la principal línea de análisis de la investigación, el cual sostiene que la relación entre desigualdad social y crisis ambiental en Colombia no puede interpretarse como un proceso que tiende naturalmente al equilibrio sino, por el contrario, como una expresión constante de un gran desequilibrio dentro del sistema socioecológico. Desde esta perspectiva, el deterioro del ambiente y la desigualdad en la distribución de riqueza no son fallas temporales del sistema, sino que son resultados posibles de un modelo de desarrollo que se sostiene desde hace muchas décadas a partir de una extracción de recursos intensiva, una concentración de la propiedad territorial y económica y una

transferencia sistemática de los costos sociales y ecológicos hacia las poblaciones más vulnerables.

Para sostener el desarrollo de este argumento, el capítulo articula una discusión crítica que transita por la ecología política latinoamericana y la economía ecológica. En esta estrategia se recuperan ideas que ayudan a explicar por qué los mecanismos de corrección alternativa que la economía tradicional sugiere no dan la talla de forma satisfactoria o lo hacen de manera limitada y desordenada en escenarios con fuertes desigualdades y elevada presión sobre la creación de la naturaleza.

Dentro de este marco, conceptos como conflictos ecológico-distributivos, extractivismo como lógica estructural del desarrollo, metabolismo social del crecimiento, noción de ecología-mundo y la ley del valor socioecológico son recuperados (Gudynas, 2015; Hickel, 2020; Martínez-Alier, 2021; Moore, 2020), buscando de esa manera reunir estas herramientas y ofrecer una mirada más completa sobre cómo el desequilibrio entre sociedad y naturaleza, se reproduce en el tiempo.

Este capítulo sigue un orden que va desde los temas más visibles, como el reparto del poder y de los daños ambientales, hasta llegar a las raíces más profundas del modelo económico. Primero, se explica cómo el impacto ambiental, cuando afecta más a unas personas que a otras, no genera señales claras que obliguen al sistema a hacer cambios. En este punto, los conflictos por el medio ambiente y la desigualdad juegan un papel importante. Después, se habla del extractivismo, una forma de desarrollo que transforma el territorio y deja daños que se acumulan con el tiempo. Esto ayuda a entender por qué la deforestación sigue ocurriendo a pesar de todo. Después, se explica que para que la economía crezca se necesita usar más energía y más materiales. Esto genera más presión sobre el medio ambiente, pero no siempre mejora la forma en que se reparte la riqueza. Al final, se plantea que el capitalismo ha funcionado, desde el inicio,

basándose en la desigualdad y en el daño a la naturaleza. Por eso, estos problemas no serían errores, sino una parte central de cómo ha operado el sistema.

Este marco teórico sirve como guía para entender los resultados que se presentan en los siguientes capítulos. En vez de analizar si el sistema va hacia un equilibrio, lo que se busca es ver si lo que ocurre en la realidad muestra un desequilibrio que se mantiene en el tiempo. También se revisa si cosas como el uso del territorio o la cantidad de bosque cambian más despacio y van acumulando efectos con el tiempo, a diferencia de los indicadores económicos, que suelen cambiar más rápido.

En pocas palabras, este capítulo quiere mostrar que el desequilibrio entre la sociedad y el medio ambiente no es un error momentáneo, sino el resultado de cómo se ha manejado el poder, el territorio y la economía en Colombia durante mucho tiempo. Por eso, los datos que vienen en los siguientes capítulos no son casos sueltos, sino que ayudan a entender cómo este modelo ha causado desigualdad y daño al ambiente.

2.1 El conflicto ambiental como rasgo estructural del crecimiento económico

El libro *El ecologismo de los pobres*, de Joan Martínez-Alier, marcó un antes y un después en la economía ecológica y la ecología política. En él, el autor cuestiona la idea de que la crisis ambiental sea solo un error del sistema que se pueda arreglar con tecnología, precios o leyes. En cambio, el autor dice que los problemas ambientales no son errores, sino parte de cómo funciona la economía. El daño a la naturaleza ocurre porque la economía crece usando muchos recursos y los impactos negativos se reparten de forma injusta entre la gente y los lugares.

Desde esta manera de verlo, no se puede hacer crecer la economía y cuidar el medio ambiente al mismo tiempo solo con pequeños cambios. Más bien, están en conflicto directo. Martínez-Alier lo explica sin rodeos cuando dice que hay un “enfrentamiento sin remedio entre la expansión económica y la conservación del medio ambiente” (Martínez-Alier, 2021, p. 85).

Esta idea es muy importante para el enfoque de esta investigación porque pone en duda teorías como la ecoeficiencia o la modernización ecológica, que suponen que con mejoras graduales se puede lograr un equilibrio entre desarrollo y sostenibilidad.

Desde este punto de vista, los conflictos ambientales no son errores del sistema, sino algo que pasa todo el tiempo. Esto sucede porque la economía crece causando daños que suelen afectar más a las personas y lugares con menos poder. Por eso, estos conflictos no son algo raro, sino una señal de cómo realmente usamos la naturaleza.

2.1.1 Las corrientes del ecologismo y la crítica al supuesto de convergencia

Uno de los aportes más importantes de Joan Martínez-Alier es que distingue tres formas diferentes de pensar el ecologismo:

- (i) El culto a lo silvestre,
- (ii) La idea de la ecoeficiencia,
- (iii) Y el ecologismo de los pobres o justicia ambiental (Martínez-Alier, 2021, p. 62).

Esta clasificación no solo sirve para organizar ideas, sino que ayuda a entender que cada una ve de manera muy distinta la relación entre crecimiento económico, daño ambiental y si el sistema puede o no corregirse solo.

La segunda idea, la ecoeficiencia, es la más utilizada hoy en las políticas ambientales y también en gran parte de la economía ambiental tradicional. Su propuesta principal es que podemos “ganar por los dos lados”: crecer económicamente y cuidar el medio ambiente al mismo tiempo. Esto, gracias a la tecnología, se hace más con menos recursos y se usan herramientas económicas. Martínez-Alier lo resume como una búsqueda de "ganancia económica y ganancia ecológica al mismo tiempo" (Martínez-Alier, 2021, p. 70).

Esta visión parte de la idea de que el sistema tiene formas internas de corregirse. Es decir, que si hay escasez, eso se verá en los precios; que la tecnología ayudará a reducir el daño y que

al final, el crecimiento económico podrá separarse del impacto ambiental. Esta lógica viene de la economía tradicional, que cree en un equilibrio al que el sistema tiende por sí mismo.

En cambio, el ecologismo de los pobres no está de acuerdo con esa idea. Desde este punto de vista, el daño ambiental no es un simple problema técnico o de mala eficiencia que se puede corregir poco a poco. Más bien, es el resultado de conflictos por cómo se reparten los recursos y los impactos del crecimiento económico. El daño ocurre porque los costos terminan recayendo sobre la población con menos poder para defenderse, y eso no se arregla automáticamente.

Esta diferencia entre la ecoeficiencia y el ecologismo de los pobres es clave para esta tesis. Mientras la ecoeficiencia cree que es posible ajustar el sistema y llegar a un equilibrio entre crecimiento y sostenibilidad, el enfoque de justicia ambiental dice que el daño y los conflictos siguen ocurriendo y que el sistema no tiene forma de corregirse por sí solo. Desde esta mirada, el deterioro del medio ambiente puede ir acumulándose con el tiempo, incluso si la economía crece, y generar efectos que ya no se pueden revertir.

2.1.2 Crecimiento económico y persistencia del conflicto ecológico-distributivo

Martínez-Alier dice que no existe una regla que garantice que, al crecer la economía, también mejoren los problemas ambientales y de desigualdad. A veces, el crecimiento puede ayudar a reducir algunas desigualdades económicas, pero eso no significa que se resuelvan los conflictos ambientales. Él mismo se pregunta si de verdad el crecimiento ayuda a mejorar estos problemas o si, en realidad, termina causando más daño al medio ambiente (Martínez-Alier, 2021, p. 87).

Desde este punto de vista, cuando la economía crece, también se usan más recursos, se consume más energía y se genera más contaminación. En lugar de ayudar al medio ambiente,

este crecimiento a menudo agrava los problemas ecológicos. Por eso, aunque la economía mejore, el daño ambiental y los conflictos por quién paga ese daño pueden seguir creciendo.

Este planteamiento pone en duda la idea de que el sistema, por sí solo, volverá a un equilibrio entre lo social y lo ambiental. Más bien, sugiere que el crecimiento económico puede seguir alimentando un desequilibrio que se mantiene en el tiempo, en el que los problemas ambientales se acumulan sin que el sistema encuentre formas efectivas de corregirlos. Esta idea está en el centro de lo que se busca demostrar en esta investigación.

2.1.3 Metabolismo social, irreversibilidad y dependencia de trayectoria

Martínez-Alier explica que la economía no es solo mover dinero de un lado a otro. En realidad, es un proceso que utiliza energía y materiales provenientes de la naturaleza y que pasan por la sociedad. A eso se le llama “metabolismo social” o “metabolismo industrial” (Martínez-Alier, 2021, p. 89). Desde esta idea, hacer crecer la economía siempre implica usar más recursos naturales y ejercer mayor presión sobre el medio ambiente.

Una idea importante de esta forma de pensar es que el daño al medio ambiente no se arregla solo con el tiempo. Al contrario, se va acumulando y muchas veces no se puede revertir. Martínez-Alier dice que las formas de producir pueden quedar “atrapadas” en hábitos que hacen daño, y que no es fácil cambiar eso, ni siquiera con nueva tecnología o cambios en la situación (Martínez-Alier, 2021, p. 88). Desde este punto de vista, que el ambiente siga deteriorándose no es raro, sino parte de cómo funciona el crecimiento económico.

2.1.4 Distribución ecológica, poder y ausencia de señales de corrección

Una idea central del enfoque de Martínez-Alier es que no se puede separar, como hace la economía tradicional, la producción de la distribución. Desde la economía ecológica, esto no tiene sentido, porque cada vez que se produce algo, también se reparten beneficios y costos al mismo tiempo. Esto también aplica al medio ambiente: no se puede producir sin afectar a

alguien, y esos efectos —buenos o malos— también se distribuyen. Como dice el autor, “no hay producción sin distribución”, y eso “también se aplica a la distribución ecológica” (Martínez-Alier, 2021, p. 98).

Por eso, la producción económica no es neutra para el medio ambiente. Cada vez que se decide producir algo, también se decide quién recibe los beneficios y quién carga con los daños. Estos daños pueden incluir contaminación, pérdida de ecosistemas, reducción de la biodiversidad o afectaciones al territorio, y no se reparten de forma equitativa. Generalmente, recaen sobre ciertos lugares y personas según las relaciones de poder, la forma en que se posee la tierra y las reglas que organizan la economía.

Desde esta forma de ver las cosas, el daño al medio ambiente no se debe a que haya muchos recursos, sino a que, muchas veces, no se reconoce ese daño en las decisiones que toman los gobiernos o las empresas. Como dice Martínez-Alier, que algo no tenga precio no significa que no sea valioso ni escaso, sino que muestra quién tiene el poder para decidir qué cuenta y qué no (Martínez-Alier, 2021, p. 109). En otras palabras, cuando no se pone precio a lo que la naturaleza nos da, no es porque no valga, sino porque el sistema ignora, a propósito, o por costumbre, los daños que recaen sobre las personas con menos voz y poder.

Cuando el daño al medio ambiente afecta a personas con poco poder, ese daño no se nota ni cambia nada. No hay señales que digan “esto está mal” ni frenos a la producción. Entonces, el sistema sigue creciendo, aunque eso signifique seguir dañando la naturaleza sin parar.

2.1.5 Implicaciones teóricas: el conflicto como predictor del desequilibrio

Las ideas de Martínez-Alier ayudan a llegar a una conclusión clave para esta investigación: en sistemas donde la economía crece todo el tiempo, se usan muchos recursos naturales y los daños ambientales se reparten de forma injusta, el desequilibrio entre sociedad y

naturaleza no es un error ni algo raro. Al contrario, se espera que pase por la forma en que está organizado el sistema.

Desde esta mirada, no sorprende que los problemas ambientales sigan presentes y no se alineen con los cambios económicos. Esto encaja con la teoría del conflicto ecológico-distributivo. Mientras el daño al ambiente se va acumulando con el tiempo, como si se guardara en una especie de “historial”, la economía sube y baja en ciclos más cortos. Esa diferencia en los tiempos genera un desajuste que se mantiene.

El conflicto ambiental no es un problema momentáneo, sino una señal clara de un desequilibrio profundo. Cuando los daños al medio ambiente se reparten de forma injusta y no se reconocen en las decisiones políticas, el sistema no corrige esos problemas por sí solo. Al contrario, el deterioro se repite con el tiempo.

Esta forma de ver las cosas ayuda a entender por qué el sistema social y ambiental puede permanecer en desequilibrio durante mucho tiempo. Además, abre el camino para analizar cómo estas relaciones de poder y la forma desigual en que se reparten los daños al medio ambiente se hacen visibles en el territorio, especialmente a través del extractivismo como una forma básica de organizar el desarrollo. Este tema se aborda en la siguiente sección.

2.2 Extractivismo, territorialización del deterioro e inercia ambiental

2.2.1 El extractivismo como racionalidad estructural del desarrollo

Eduardo Gudynas plantea una idea clave para comprender los problemas entre la sociedad y el medio ambiente en América Latina. Según él, los extractivismos no son solo actividades como la minería, el petróleo o la agricultura a gran escala, sino también una forma de pensar y de organizar el desarrollo que domina todo el sistema. En su libro *Extractivismos. Ecología, economía y política de un modo de entender el desarrollo y la naturaleza*, Gudynas explica que los extractivismos “son mucho más que un conjunto de proyectos” y representan

una lógica de desarrollo que pone todo su valor en lo económico y descuida la participación democrática y los demás aspectos de la vida social y ambiental (Gudynas, 2015, p. 7).

Esta forma de entender el extractivismo cambia la mirada: en lugar de enfocarse solo en daños ambientales específicos, mira las estructuras históricas, políticas e institucionales que determinan cómo se relacionan la economía, el territorio y la naturaleza. Según Gudynas, el extractivismo no se trata solo de proyectos como la minería o el cultivo a gran escala. Es más bien una manera de ver y organizar el desarrollo, en la que se decide quién manda, qué tierras pueden usarse o explotarse y qué cosas son más importantes para la sociedad (Gudynas, 2015). En esa lógica, se define qué territorios hay que cuidar, cuáles se pueden sacrificar y qué tipo de daño al medio ambiente estamos dispuestos a aceptar.

Desde esta perspectiva, el daño al medio ambiente no se convierte en un efecto colateral del crecimiento económico, sino que se inscribe en una lógica del desarrollo extractivista. Un crecimiento continuo de las actividades extractivas, una primacía de las ganancias sobre las preocupaciones sociales y ecológicas y los cambios ineluctables en el uso de los territorios no son errores que quedan al margen del modelo, sino que forman parte de él.

Por eso, el extractivismo favorece procesos de degradación ambiental que se repiten y se mantienen en el tiempo, ya que el uso intensivo de la naturaleza queda integrado en formas de producción, normas e ideas sobre el territorio que tienden a reproducirse.

Este enfoque es muy útil para esta investigación porque permite pensar que algunos problemas ambientales, como la deforestación, no cambian fácilmente según cómo le vaya a la economía en un momento dado. Más bien, siguen sus propias lógicas, conectadas con estructuras políticas y del territorio que vienen de hace mucho tiempo.

2.2.2 Extractivismo y desarrollo: una relación no transitoria

Para Gudynas, cuando se habla de extractivismo, también se habla del tipo de desarrollo que lo hace posible. No es solo un tema técnico ni exclusivo de ciertos sectores, sino una discusión mucho más amplia: cómo entendemos el desarrollo y el progreso. Las luchas contra los proyectos extractivos no se limitan a los impactos locales, sino que cuestionan las ideas más profundas del modelo que domina hoy en día. Como dice el propio Gudynas, “los actuales debates y resistencias frente a los extractivismos frecuentemente implican discutir sobre las ideas de desarrollo”, porque ambos temas están “estrechamente ligados” (Gudynas, 2015, p. 393).

Esta idea rompe con la creencia de que el extractivismo es solo una etapa temporal en el camino hacia el desarrollo. Gudynas critica directamente el llamado modelo de “dos pasos”, que propone que los países en desarrollo primero deben explotar intensamente sus recursos naturales y, más adelante, diversificar su economía para depender menos de ellos. Según esta visión, los problemas sociales y ambientales que genera el extractivismo se podrían revertir con el tiempo, y eventualmente se llegaría a un desarrollo más sostenible una vez que haya suficiente crecimiento económico. Pero Gudynas cuestiona si esto es realmente posible.

Pero según Gudynas, esta idea no tiene bases sólidas ni en los hechos ni en la teoría. La etapa extractiva deja daños muy graves en las personas, en los territorios y en la naturaleza, y esos problemas no se arreglan solo porque la economía crezca después. Al contrario, esos daños generan más gastos, más reclamos de la gente y más presiones políticas. Todo eso hace que los gobiernos dependan aún más del dinero que genera la extracción, creando un círculo sin salida, donde seguir extrayendo recursos parece la única forma de enfrentar los problemas que esa misma actividad causó (Gudynas, 2015, pp. 394–395).

Desde este punto de vista, el extractivismo no es una etapa temporal que conduzca a un desarrollo más diverso y sostenible. Más bien, es una forma de organización que se integra al sistema y se mantiene con el tiempo. En lugar de ayudar a salir del daño ambiental, refuerza las condiciones que lo hacen persistir y dificulta que, en el futuro, se puedan tomar medidas para corregirlo.

2.2.3 Territorialización del deterioro y dinámicas acumulativas

Uno de los aportes más importantes de Gudynas para esta investigación es que pone especial énfasis en cómo el extractivismo transforma los territorios. Según él, los extractivismos se han vuelto “uno de los principales factores de reestructuración territorial, de impactos ambientales a gran escala y de efectos sociales, económicos y políticos muy amplios” (Gudynas, 2015, p. 425). Con esto, quiere decir que su influencia no se limita a dónde se ubican los proyectos extractivos, sino que transforma profundamente el uso de la tierra, cómo se organizan las zonas productivas y las relaciones de poder en el territorio.

Desde este punto de vista, el territorio no es solo el lugar donde se desarrollan las actividades económicas, sino que desempeña un papel activo en la producción y acumulación de la riqueza. La expansión del extractivismo cambia la forma en que se ocupa el espacio, impulsa la creación de nuevas zonas de explotación, modifica quién puede usar o poseer la tierra y también transforma la presencia del Estado en distintas regiones, a veces se fortalece, otras veces desaparece casi por completo.

Todo esto va generando formas de organizar el territorio que se repiten con el tiempo, sin importar si la economía crece o no. Por eso, problemas como la deforestación no dependen solo de si hay una crisis o de un buen momento económico, sino de procesos más profundos y duraderos que se mantienen, aunque cambien las cifras de crecimiento. En cambio, están ligados a procesos más profundos y prolongados: la expansión de las actividades agroextractivas, la

persistencia de economías ilegales, los conflictos armados, la falta de claridad sobre quién posee la tierra y la debilidad de las instituciones. Todos estos factores empujan el deterioro ambiental y lo vuelven acumulativo, de modo que no se arregla por sí solo cuando el PIB sube o baja, o cuando la economía se desacelera.

El enfoque territorial de Gudynas ayuda a entender que la deforestación no depende directamente de cómo le vaya a la economía a corto plazo. Es un proceso que avanza a su propio ritmo, mucho más lento y difícil de cambiar que los ciclos económicos habituales. La pérdida de bosques no es algo que se detenga fácilmente, porque está relacionada con la manera en que ya está organizado el uso de la tierra, con instituciones que no tienen la fuerza para controlar el problema y con decisiones políticas que no siempre priorizan el medio ambiente. Todo eso hace que el daño se repita una y otra vez y resulte muy difícil darle la vuelta (Gudynas, 2015).

2.2.4 Extractivismo, democracia y bloqueo institucional del ajuste

Gudynas explica que el extractivismo no solo daña la naturaleza, sino que también transforma la forma en que se gobierna un país. Dice que, para facilitar la extracción de recursos, muchas veces se debilita la democracia, se toman decisiones desde arriba y la gente tiene menos oportunidades de participar o de hacer valer su opinión (Gudynas, 2015, p. 426).

Cuando el extractivismo crece, normalmente viene acompañado de leyes ambientales más débiles, de un enfoque en el que lo más importante es el dinero que deja la extracción y de decisiones que ponen en segundo plano el cuidado del ambiente y del territorio, con tal de asegurar el crecimiento económico y mantener estables las finanzas del país. En este contexto, el Estado no corrige los problemas, sino que, muchas veces, ayuda a que todo siga igual, asegurando que la extracción no se detenga.

Además, el extractivismo suele cerrar los espacios de participación de la gente, especialmente durante las protestas ambientales. Muchas veces, esas protestas son ignoradas,

desprestigiadas o incluso criminalizadas, lo que dificulta que los conflictos ecológicos se escuchen como demandas políticas reales. Como resultado, los problemas ambientales no se toman en cuenta seriamente en las decisiones del gobierno; en su lugar, se minimizan o se esconden, como si no formaran parte del debate público.

Desde este punto de vista, el hecho de que no se hagan cambios reales para cuidar el medio ambiente no se debe solo a errores técnicos ni a que las políticas no se apliquen bien. Más bien, el problema está en cómo están organizadas las instituciones, que funcionan de una forma que favorece el extractivismo y evita que se generen respuestas que realmente cambien las cosas de fondo.

2.2.5 Ética del desarrollo, naturalización del sacrificio territorial y persistencia del daño

Para Gudynas, una parte muy importante del extractivismo es la forma en que se justifica éticamente. Él dice que esta manera de pensar pone al ser humano por encima de la naturaleza y que todo se valora únicamente por su utilidad para hacer crecer la economía. Bajo esta lógica, el daño al ambiente o a las personas puede considerarse aceptable, siempre y cuando se sostenga que es por el bien del “progreso” (Gudynas, 2015, p. 433).

Esta forma de ver el desarrollo hace que parezca normal dañar ciertos lugares y comunidades. Es como si se pensara que algunas zonas pueden usarse y destruirse sin problema, con tal de que la economía crezca. Por eso, cosas como la deforestación, la contaminación o la pérdida de plantas y animales ya no se perciben como algo grave, sino como un “precio que hay que pagar” para avanzar (Gudynas, 2015).

Gudynas explica que esta idea de que el daño ambiental es “normal” se refuerza por una cultura que solo le da importancia al crecimiento económico, a las exportaciones y a las ganancias. Mientras tanto, se ocultan las pérdidas ecológicas y los efectos negativos que ello deja en los territorios y las comunidades a largo plazo (Gudynas, 2015, p. 432). Por eso, el daño

ambiental no es una excepción dentro del modelo de desarrollo, sino que forma parte de su funcionamiento normal.

2.2.6 Implicaciones teóricas: el territorio como dimensión desacoplada del ajuste macroeconómico

Para Gudynas, el territorio no es solo un espacio vacío que se adapta a lo que ocurre en la economía. Tiene su propia lógica, cambia con el tiempo y también influye en lo que sucede a nivel social y ambiental. En los lugares donde se explotan en gran medida los recursos naturales, el daño al territorio no se arregla solo porque mejore la economía. Ese daño sigue pasando porque tiene que ver con cómo se usa la tierra, con decisiones políticas y con formas de hacer las cosas que se repiten una y otra vez, aunque la economía vaya más lenta. Con el tiempo, ese deterioro se va acumulando debido a las decisiones que toman los gobiernos y a las fallas en cómo funciona el Estado. La expansión constante de las actividades extractivas, las reglas sobre el uso de la tierra y la falta de un Estado fuerte hacen que estas formas de ocupación del territorio se repitan y se mantengan, incluso cuando la economía va mal o se desacelera.

Desde esta mirada, el daño ambiental que sigue ocurriendo con el tiempo no es un error ni algo raro, sino una señal clara del tipo de desarrollo que se ha seguido: uno que se basa en extraer intensamente recursos naturales, en desigualdades entre territorios y en ver como “normal” que algunos lugares se sacrifiquen por el supuesto progreso. Por eso, el territorio es clave para entender los problemas entre la sociedad y la naturaleza, ya que sigue su propia lógica, distinta de la de los cambios económicos, lo que ayuda a explicar por qué el daño ambiental no se detiene con el tiempo.

Si el extractivismo ayuda a entender por qué el daño ambiental se mantiene en el tiempo y por qué las instituciones no logran frenarlo, entonces es importante mirar más a fondo cómo funciona esa lógica que une el crecimiento económico, la desigualdad y el uso intensivo de la

naturaleza. Esto se analiza en la siguiente sección a partir de la teoría del metabolismo social y de las ideas críticas del autor Jason Hickel sobre el crecimiento.

2.3 Metabolismo social, crecimiento económico y reproducción del desequilibrio

2.3.1 El crecimiento económico como proceso metabólico

Jason Hickel realiza un análisis de carácter estructural del modelo de crecimiento económico dominante, dado que, según él, la economía moderna no puede interpretarse como un mero sistema abstracto de intercambios monetarios, sino que es un proceso metabólico que se dedica a transformar energía, materiales y trabajo a escala. En esta concepción, el PIB no es un acontecimiento neutro; es decir, no es solamente una cuestión contable, sino que constituye la forma cuantitativa de una intensificación sostenida de los flujos biológicos que atraviesan la economía.

Hickel explica que lo que realmente hace único al capitalismo no es solo que existan mercados, sino que está organizado para crecer sin parar. Según él: “Lo que hace al capitalismo distintivo no es que tenga mercados, sino que está organizado en torno al crecimiento perpetuo”. Es un sistema que incorpora cantidades cada vez mayores de naturaleza y trabajo humano en sus circuitos de acumulación” (Hickel, 2020, p. 44). El verdadero problema social y ecológico que vivimos hoy tiene que ver con una lógica de fondo: la idea de que siempre se puede seguir expandiendo el uso de la naturaleza y del trabajo humano.

Visto así, ya no tiene mucho sentido creer que el crecimiento económico puede seguir adelante sin afectar al medio ambiente, solo con pequeños cambios, mejoras en la eficiencia o ajustes graduales en las reglas. Si la economía está diseñada para crecer constantemente, entonces el daño ecológico no es un accidente que pueda corregirse fácilmente, sino algo que está incluido en la forma en que funciona ese crecimiento. En otras palabras, el deterioro ambiental no es una excepción, sino parte del propio sistema económico.

2.3.2 Crecimiento, desigualdad y apropiación ecológica

Una de las ideas principales de Hickel es que el crecimiento económico no solo daña al medio ambiente, sino que también aumenta la desigualdad. Él explica que, en los últimos años, buena parte de los beneficios del crecimiento económico mundial ha ido a parar a los más ricos. De hecho, en los últimos 40 años, casi una tercera parte de todo el dinero extra generado terminó en manos del 1% más rico de la población (Hickel, 2020, p. 34).

Esto deja claro que el crecimiento económico, por sí solo, no resuelve la desigualdad. De hecho, a menudo ocurre lo contrario: unas pocas personas obtienen las ganancias y la mayoría tiene los problemas, como la contaminación. En los países más pobres, esto es aún más acusado, dado que su economía depende en gran medida de extraer y poner a la venta recursos naturales, lo que se traduce en el problema de que los efectos perniciosos causados por los problemas como es el deterioro del medio preparan el camino a las comunidades más vulnerables, las cuales no tienen formas de defenderse ni de ser escuchadas.

Desde este punto de vista, la desigualdad no es algo que ocurra por accidente cuando la economía crece, sino que ayuda a que ese crecimiento se mantenga. Mantener salarios bajos, vivir en condiciones precarias y explotar intensamente la naturaleza son prácticas que permiten que la economía siga expandiéndose, incluso cuando el medio ambiente ya muestra claros límites. Por eso, el crecimiento económico, la desigualdad y el daño ambiental no son problemas separados, sino que están conectados y forman parte del mismo proceso.

2.3.3 Crítica al desacoplamiento y al “crecimiento verde”

Hickel cuestiona de manera clara la idea del “crecimiento verde”, que sostiene que la economía puede seguir creciendo sin dañar el medio ambiente, solo mejorando la tecnología y siendo más eficiente. Después de revisar muchos estudios y datos reales, su conclusión es tajante: “Green growth is not a thing. It has no empirical support” (Hickel, 2020, p. 29).

Aunque en algunos sectores o momentos se logran avances en eficiencia, estos beneficios suelen perderse debido al llamado efecto rebote y, sobre todo, porque la producción sigue creciendo cada vez más. Por eso, incluso con la transición a energías limpias, el uso de nuevas tecnologías o la digitalización, el crecimiento económico sigue presionando a los ecosistemas.

Este argumento es especialmente relevante para esta tesis, ya que respalda la interpretación de los resultados econométricos, que indican que la relación entre el crecimiento económico y la presión ambiental se mantiene en el tiempo. No hay señales de que esta relación se estabilice o se rompa a largo plazo. La falta de un desacoplamiento real no es rara ni inesperada; al contrario, es una consecuencia lógica de un modelo económico diseñado para crecer constantemente, incluso a costa del entorno natural.

2.3.4 Metabolismo social y persistencia temporal del deterioro

El enfoque metabólico ayuda a ver que el daño al medio ambiente no se quita de la noche a la mañana, sino que se va acumulando poco a poco con el tiempo. Esto pasa porque se afecta directamente a la naturaleza, como los bosques, la tierra, los animales o la capacidad del planeta para absorber basura, y ese daño no se arregla solo porque la economía tenga un cambio temporal. Al contrario, las consecuencias se quedan y siguen creciendo con los años.

Hickel explica que el crecimiento económico, tal como funciona hoy, depende de saquear constantemente energía y materiales de la naturaleza, lo que ejerce una presión constante sobre el medio ambiente. Por eso, tiene sentido que algunos problemas ambientales sean más difíciles de cambiar que los indicadores económicos, sobre todo en países donde se vive de la extracción de recursos y hay mucha desigualdad.

Esta idea ayuda a ver que los problemas del medio ambiente no se arreglan ni empeoran al mismo ritmo que la economía. No importa si la economía va bien o mal, el daño al medio ambiente sigue avanzando y se acumula con el tiempo; no se borra de un día para otro.

2.3.5 Decrecimiento como crítica estructural al ajuste automático

Frente a este problema, Hickel no propone el decrecimiento como una idea de recortar por recortar o de vivir con lo mínimo, sino como una forma de organizar mejor la manera en que usamos la energía y los recursos, para que estén en equilibrio con lo que el planeta realmente puede soportar. Define el decrecimiento como “a planned downscaling of energy and resource use to bring the economy back into balance with the living world in a safe, just and equitable way” (Hickel, 2020, p. 34).

Lo que realmente importa de esta propuesta, en el marco de la tesis, no es lo que propone hacer de inmediato, sino que cuestiona la idea de que el sistema económico se arreglará por sí solo. Si la manera en que crece la economía va en contra de los límites del planeta, entonces no tiene sentido pensar que, por sí sola, va a encontrar un equilibrio que funcione bien tanto para las personas como para la naturaleza

El decrecimiento ayuda a cuestionar si el modelo actual de crecimiento puede corregirse por sí solo. Y eso va justo con la idea principal de este capítulo: el desorden no es algo temporal ni un accidente, sino parte del modo en que está hecha la economía hoy en día.

2.3.6 Implicaciones teóricas: crecimiento como motor del desequilibrio

Lo que dice Hickel ayuda a entender algo muy importante en esta investigación: cuando hay mucha desigualdad y la economía depende de extraer recursos de la naturaleza, crecer no arregla los problemas sociales ni ambientales. Al contrario, muchas veces los hace peores. Por eso, el daño al medio ambiente y la desigualdad no son fallas del sistema, sino el resultado normal de cómo está diseñado este modelo económico.

Visto así, que el crecimiento económico no sirva para reducir la desigualdad ni proteger el medio ambiente no es una sorpresa ni un error del sistema; es justo lo que cabría esperar. En vez de ayudar a resolver la crisis social y ambiental, el crecimiento se ha convertido en una de sus causas principales.

Si el crecimiento económico sigue causando desequilibrios porque funciona como un sistema que siempre quiere más y más recursos, entonces hay que mirar más allá de lo económico. Es importante entender cómo el capitalismo, desde hace mucho tiempo, ha organizado la forma en que nos relacionamos con la naturaleza. En la siguiente parte se retoma la propuesta de Jason W. Moore sobre la ecología-mundo, que ayuda a cerrar esta parte teórica, mostrando que la crisis social y ambiental no es un problema aislado ni momentáneo, sino algo que proviene del propio modo en que está armado el sistema en el que vivimos.

2.4 Ecología-mundo, capitalismo y la imposibilidad estructural del equilibrio

2.4.1 Del dualismo economía–naturaleza a la ecología-mundo

Jason W. Moore propone una forma distinta y más profunda de entender cómo la teoría social y económica ha percibido, a lo largo del tiempo, la relación entre la economía y la naturaleza. En lugar de pensar que la economía es algo separado, que solo “afecta” o “daña” a un medio natural que ya estaba ahí, Moore sostiene que el capitalismo debe entenderse como una ecología-mundo. Es decir, como una forma histórica específica de organizar, al mismo tiempo, la vida humana y la naturaleza: el trabajo, la energía, los territorios y los recursos que se mueven entre ambos.

Esta idea rechaza por completo la forma en que, desde hace mucho tiempo, se ha separado lo natural de lo social. Esa división sigue presente tanto en la economía ambiental tradicional como en muchas corrientes críticas, que, aunque reconocen lo ecológico, todavía conciben la naturaleza y la sociedad como cosas distintas. Moore, en cambio, lo dice con mucha

claridad: “el capitalismo no es un sistema económico; no es un sistema social; es una manera de organizar la naturaleza” (Moore, 2020, p. 17). Y no lo dice como una metáfora, sino como una idea central: el capitalismo no solo actúa sobre la naturaleza, sino que existe gracias a cómo se ha organizado a través de ella.

Esta forma de ver las cosas tiene un impacto muy importante en el marco teórico de esta investigación. Primero, pone en duda una idea que aparece en muchos estudios: que la economía puede ajustarse por sí sola, sin importar la base ecológica que la sostiene. Desde la mirada de la ecología-mundo, no existe un “afuera” natural que le ponga un alto al sistema cuando se cruza un cierto límite. En realidad, esos límites ecológicos no están fuera del sistema, sino que nacen dentro de las mismas relaciones que organizan cómo producimos, usamos y damos valor a los recursos.

Además, esta forma de ver las cosas ayuda a entender que la desigualdad social y la crisis ambiental no son problemas separados que a veces coinciden, sino que forman parte del mismo sistema. El modo en que el capitalismo organiza la naturaleza siempre ha implicado formas específicas de aprovechar el trabajo, tanto humano como de la naturaleza, de repartir de manera desigual los recursos y de decidir qué territorios se benefician y cuáles cargan con los daños. Por eso, la desigualdad y el daño ambiental no son errores que puedan arreglarse fácilmente, sino parte del modo en que este sistema ha funcionado a lo largo del tiempo.

Esta mirada ayuda a cerrar el argumento que se ha venido construyendo en las secciones anteriores. Sí, como dice Hickel, el crecimiento económico funciona como un sistema que siempre busca expandirse, y si, como plantea Gudynas, ese sistema se refleja en el extractivismo y genera daños ambientales difíciles de revertir, entonces la ecología-mundo nos da las claves para entender por qué este problema no se puede resolver con pequeños cambios ni con mejoras graduales. El problema no está en cómo se maneja la relación entre la economía y el medio

ambiente, sino en la forma misma en que el capitalismo ha organizado la vida y la naturaleza a lo largo del tiempo.

2.4.2 Doble internalidad y metabolismo singular del capitalismo

Una de las ideas más importantes que plantea Moore es la de "doble internalidad". Con esto, lo que quiere decir es que la economía y la naturaleza no están separadas, sino que siempre han estado conectadas. Este concepto ayuda a entender por qué los problemas sociales y los ambientales suelen ir juntos. Según Moore, el capitalismo no solo se aprovecha de la naturaleza, sino que también se construye dentro de ella, y al mismo tiempo, va transformándola con la forma en que funciona. Como él lo resume: “Este doble movimiento, del capitalismo a través de la naturaleza, de la naturaleza a través del capitalismo, es lo que denomino doble internalidad” (Moore, 2020, p. 15).

La idea de la doble internalidad nos dice que la naturaleza no está fuera de la economía, como si fuera un límite que se alcanza cuando el sistema crece demasiado. En realidad, la naturaleza forma parte del propio funcionamiento del capitalismo. Este sistema no solo cambia la naturaleza, sino que depende de ella para existir: requiere energía, trabajo humano y no humano, territorios y ecosistemas para seguir funcionando. Al mismo tiempo, la forma en que está organizada la economía va modificando poco a poco la naturaleza. Por eso no tiene sentido imaginar que existan una naturaleza “pura” por un lado y una economía separada por otro. En realidad, siempre han estado ligadas, creciendo y cambiando juntas, afectándose mutuamente con el tiempo.

Esta forma de ver las cosas ayuda a dejar atrás la idea tradicional de que la naturaleza y la economía son dos realidades separadas. También va más allá de las posturas que aceptan la interacción entre ambas, pero todavía ven la naturaleza como algo externo que se puede “arreglar” con buenas políticas o poniendo precios correctos. Desde la idea de la doble

internalidad, los límites del planeta no funcionan como advertencias externas que hagan que el sistema se corrija por sí solo. Más bien, son problemas que vienen desde dentro del propio sistema capitalista y se manifiestan en las crisis que se repiten una y otra vez, en el daño al medio ambiente que se va acumulando y en la desigualdad que sigue ahí, sin resolverse.

El capitalismo no es un sistema que se ajuste fácilmente cuando empiezan a faltar recursos. Más bien, está hecho para seguir funcionando a partir de tomar trabajo humano y recursos de la naturaleza sin pagarlos como se debería. La economía crece no porque busque un equilibrio con el planeta, sino porque necesita mantener todo barato: la energía, las materias primas, la tierra y la mano de obra.

Esta forma particular en que funciona el capitalismo ayuda a entender por qué los problemas ambientales no se corrigen por sí solos. Si la naturaleza forma parte del mismo sistema económico, entonces su desgaste no se percibe como un error que obligue al sistema a ajustarse, sino como algo normal en la acumulación de riqueza. El daño al medio ambiente puede seguir creciendo sin frenar la economía, siempre y cuando ese costo se traslade a lugares y personas con menos poder para decidir o defenderse.

2.4.3 La ley del valor como ley socioecológica: Naturaleza Barata

Moore replantea de forma muy clara la idea de la ley del valor de Marx, llevándola al terreno social y ecológico. Para él, no se puede entender cómo se genera valor en el capitalismo solo mirando la relación entre el trabajo asalariado y las mercancías. Más bien, este sistema se sostiene gracias a la gran cantidad de trabajo, humano y de la naturaleza, que se toma sin pagar. Por eso, Moore dice que “la ley del valor en el capitalismo es una ley de la Naturaleza Barata” (Moore, 2020, p. 73).

El capitalismo necesita que ciertos elementos de la naturaleza salgan baratos para poder seguir creciendo. Esto incluye cosas como alimentos, energía, materias primas y fuerza de

trabajo, que se consiguen a un costo mucho menor del que realmente tienen si se considera su valor para la sociedad y el medio ambiente. La explotación del trabajo asalariado se apoya en algo más grande: la apropiación de territorios, ecosistemas, ciclos naturales y trabajos que no están pagados ni reconocidos, lo que permite mantener bajos los costos de producción.

Moore hace una distinción muy importante entre explotación y apropiación. Señala que “todo acto de explotación depende de un acto todavía mayor de apropiación” (Moore, 2020, p. 75). Es decir, antes de explotar el trabajo de las personas, el sistema ya se ha apropiado de algo más grande: los recursos naturales, la tierra, la energía y la vida misma. Desde esta mirada, la desigualdad y el daño al medio ambiente no son errores del sistema, sino parte de su forma de funcionar. Es justamente gracias a eso que el capitalismo ha podido sostenerse.

Esta manera de entenderlo es muy importante para esta investigación, porque permite ver por qué siguen ocurriendo, al mismo tiempo, tanta injusticia social y tanta destrucción de la naturaleza. No se trata de un problema momentáneo ni de una mala decisión de política pública, sino de una muestra clara de cómo funciona el sistema en realidad: un modelo que se sostiene haciendo cada vez más barata la vida y la naturaleza. En este contexto, cosas como la deforestación no se detienen solas, porque no son vistas como un problema dentro del sistema. Al contrario, ayudan a mantener los costos bajos y a que todo siga funcionando como hasta ahora.

2.4.4 Excedente ecológico, crisis y límites históricos

Moore habla de “excedente ecológico” para explicar que las crisis del capitalismo no son algo raro o que pasa de vez en cuando, sino parte de cómo está hecho el sistema desde el principio. Lo que dice es que el capitalismo funciona tomando mucho del trabajo de las personas y de la naturaleza, sin pagar lo que realmente vale, mientras la riqueza se queda en manos de

unos pocos. Esa es la lógica que mantiene vivo al sistema, pero también la que genera muchos problemas que no se resuelven y que se van acumulando con el tiempo.

Moore dice que hay una contradicción que ha ido creciendo con el tiempo: por un lado, las ganancias y el dinero no paran de aumentar, pero al mismo tiempo, al sistema cada vez le cuesta más seguir aprovechándose de la naturaleza sin pagar lo que realmente vale. Es decir, cada vez hay más capital, pero menos “naturaleza barata” disponible. Como dice Moore, estas dos cosas están conectadas: una sube, mientras la otra baja (Moore, 2020, p. 113). Es decir, mientras el dinero y la riqueza crecen, la base natural que lo sostiene se va haciendo más limitada.

En lugar de corregirse, esta situación lleva a respuestas que empeoran aún más el desequilibrio entre lo social y lo ambiental: se extraen más recursos, se expanden las fronteras hacia nuevos territorios, se vuelve más difícil sostener la vida cotidiana y todo se vuelve más dependiente del mundo financiero. Moore llama a este momento “el fin de la Naturaleza Barata” (Moore, 2020, p. 134), no porque los recursos se estén acabando de inmediato, sino porque cada vez cuesta más mantener este sistema que vive de sacar provecho de la naturaleza sin pagar su verdadero valor.

2.4.5 Naturaleza histórica, agotamiento y persistencia del deterioro

Uno de los aportes más valiosos de la ecología-mundo es la forma en que explica el agotamiento de los recursos. Moore dice que este desgaste no pasa por casualidad, sino que tiene que ver con la manera en que el capitalismo se ha relacionado con la naturaleza a lo largo del tiempo (Moore, 2020, p. 152).

Desde esta forma de ver las cosas, problemas como la deforestación no se deben solo a decisiones del momento ni a la búsqueda de ganancias rápidas. Estos problemas no provienen de decisiones recientes, sino de formas de ejercer poder y controlar territorios que existen desde

hace mucho tiempo. El daño al medio ambiente no pasa de un día para otro; se va acumulando con los años y deja heridas profundas que no se borran fácilmente. Y no importa si en algún momento a la economía le va bien o mal; ese daño sigue ahí, porque no depende solo de lo que pase en el corto plazo.

2.4.6 Capitaloceno y crítica al Antropoceno

La idea del Capitaloceno ayuda a ver que la crisis ambiental no es responsabilidad de toda la humanidad por igual, sino el resultado de un sistema en particular: el capitalismo. Moore dice que usar el término Antropoceno puede ser engañoso, porque hace que se pierdan de vista cosas muy importantes, como la desigualdad, el colonialismo y el poder que algunos grupos han tenido sobre otros. En cambio, el Capitaloceno permite ver cómo la crisis ambiental, el extractivismo y la injusticia social están interconectados.

Esta diferencia es muy importante para entender la crisis ambiental en Colombia, ya que permite verla como parte de un problema global, pero que toma forma propia según lo que ocurre en el territorio y las decisiones que se toman desde las instituciones del país.

2.4.7 Implicaciones teóricas: por qué el equilibrio socioecológico es imposible

En pocas palabras, la ecología-mundo nos deja una idea clara para cerrar esta parte: el capitalismo, por sí solo, no puede lograr un equilibrio justo entre las personas y la naturaleza. El daño al medio ambiente y la desigualdad no son fallas del sistema, sino parte de cómo ha funcionado desde siempre, sacando provecho de la naturaleza de manera desigual.

Desde esta mirada, el sistema social y ecológico en Colombia no tiende a corregirse, sino que se mantiene en desequilibrio. Esta idea es clave para entender los resultados del Capítulo 5, sobre todo la falta de relaciones estables a largo plazo y la fuerte inercia que se ve en los cambios del uso del suelo y los bosques en el país.

2.5 Síntesis conceptual: el desequilibrio socioecológico como resultado estructural

Todo lo que se ha desarrollado en este capítulo lleva a una idea central: no se puede entender bien la relación entre crecimiento económico, desigualdad y daño al medio ambiente si se piensa que el sistema va a corregirse por sí solo o que, con el tiempo, llegará a un equilibrio justo. Desde la economía ecológica y la ecología política, el desequilibrio no se ve como un problema aislado ni como un fallo del sistema, sino como una consecuencia directa de cómo está armado el sistema: de cómo se producen, se reparten las ganancias y se usa la naturaleza. Visto así, que la desigualdad y el daño al medio ambiente sigan ocurriendo al mismo tiempo no es algo que pueda corregirse con simples ajustes. Al contrario, es una muestra clara de que el sistema funciona justamente así.

En primer lugar, el enfoque de los conflictos ecológico-distributivos (Martínez-Alier) permite comprender por qué el deterioro ambiental no opera como una “señal” que active mecanismos automáticos de corrección. Si toda producción implica repartir algo —incluyendo también lo que pasa con la naturaleza—, entonces el crecimiento económico no solo crea bienes y riqueza, sino también daños, riesgos y pérdidas para el medio ambiente. Y esos efectos no se reparten de forma justa: suelen caer sobre los territorios y las personas con menos poder. Desde esta mirada, el deterioro ambiental no es algo pasajero ni un simple “efecto secundario”, sino parte del sistema. Los costos se pueden mover a donde haya menos resistencia, lo que impide que realmente se conviertan en límites para el crecimiento. La consecuencia teórica es clara: la presión ambiental puede acumularse en el largo plazo sin activar convergencia, porque los mecanismos de retroalimentación correctiva son débiles o inexistentes cuando la distribución ecológica está mediada por desigualdad y relaciones históricas de poder.

En segundo lugar, la mirada del extractivismo y el territorio, propuesta por Gudynas, profundiza este diagnóstico al mostrar que el daño ambiental no se da solo por precios o

decisiones de mercado. También tiene que ver con cómo están organizados el espacio, las instituciones y la política. En los contextos extractivistas, el territorio no es solo una parte que se ajusta al ritmo de la economía, sino que juega un papel activo y central. En él se cruzan temas de propiedad, control, violencia, informalidad y cambios en la forma de producir. Por eso, problemas como la deforestación no son eventos aislados, sino procesos que se repiten y se sostienen en el tiempo, a través de la expansión de la frontera, las disputas por la tierra y formas de gobierno que favorecen la extracción. Esto hace que los daños ambientales ligados al territorio sigan su propio ritmo, más lento y difícil de cambiar, y no necesariamente conectado con el crecimiento económico general.

En tercer lugar, la idea del metabolismo social del crecimiento, que plantea Hickel, ayuda a juntar todo lo que se ha dicho antes. Él dice que, para seguir creciendo como lo hace hoy, la economía necesita cada vez más energía, más materiales y más recursos de la naturaleza. Sin embargo, ese modelo no es justo: los beneficios se los quedan unos pocos, mientras que los costos —como el daño al medio ambiente— los terminan cargando las personas y los territorios que menos tienen y que menos poder tienen para defenderse. En ese sentido, el crecimiento no está ayudando a resolver la crisis ambiental; al contrario, la está haciendo más grave. Esto se nota aún más en países como el nuestro, donde buena parte de la economía depende de extraer recursos naturales y venderlos afuera.

Por eso, una de las ideas más importantes de esta tesis es que no podemos pensar que el crecimiento, por sí solo, va a arreglar el daño ambiental o a reducir la desigualdad. Más bien, la forma en que se está impulsando el crecimiento hoy sigue presionando a la naturaleza y dejando intactas las desigualdades de fondo.

Para cerrar, la idea de ecología-mundo que propone Jason W. Moore ayuda a juntar todo lo que hemos visto. Él dice que el capitalismo no es solo un sistema económico que afecta a la

naturaleza desde afuera, sino una forma de organizarla desde dentro. Visto así, la desigualdad y el daño al medio ambiente no son problemas separados, sino dos efectos que vienen del mismo sistema y que siempre han estado conectados.

Ideas como la “ley del valor”, que básicamente habla de cómo el sistema busca siempre abaratar todo lo que viene de la naturaleza, la diferencia entre explotar algo y simplemente apropiárselo, y el hecho de que el sistema tiene sus propios límites, ayudan a entender por qué el capitalismo sigue funcionando como lo hace: bajando costos, expandiéndose y pasando los problemas a otros, en vez de arreglarse solo. Visto así, que el medio ambiente siga dañándose no es algo raro ni una falla del sistema. Al contrario, es justo como ha funcionado desde el principio.

En pocas palabras, todas estas ideas llevan a lo mismo: en sistemas como el nuestro, donde la economía crece sacando recursos, manteniendo desigualdades y usando la naturaleza sin medir las consecuencias, el desorden no es algo temporal, sino parte de cómo funciona todo desde el principio. Por eso, tiene sentido que no veamos relaciones claras o estables, a largo plazo, entre crecimiento, distribución y sostenibilidad. También se entiende que los problemas ambientales, como el uso del suelo o la pérdida de bosques, sigan su propio ritmo, muchas veces más lento y constante que los cambios económicos, que pueden subir o bajar según el momento. Dicho de otra manera, lo que plantea este marco teórico es que algunas cosas de la naturaleza, como los bosques o el territorio, siguen una lógica más lenta y acumulativa que la economía, incluso cuando esta última cambia o se ajusta con el tiempo.

Esta idea es clave para lo que viene en los siguientes capítulos. Los datos y análisis sobre Colombia entre 1980 y 2023 no se van a mirar como simples números sueltos, sino como posibles señales de que este desequilibrio estructural está realmente ocurriendo. En especial, el análisis va a servir para ver si el sistema tiene tiempos distintos en lo económico y en lo

ambiental, y si ciertos procesos —como la pérdida de cobertura forestal o los cambios en el uso del suelo— siguen mostrando patrones que coinciden con todo lo que se explicó en este capítulo.

3 Metodología de la Investigación

3.1 Datos

Este estudio analiza datos anuales de Colombia entre 1980 y 2023, usando información sobre desigualdad, economía, medio ambiente y capacidad del gobierno. El objetivo es entender cómo se relacionan estos aspectos dentro del sistema social y ambiental del país, siguiendo las ideas explicadas en el capítulo anterior.

Para cada dato utilizado, se registró de forma ordenada su fuente, fecha de consulta, unidad de medida, periodo cubierto, cómo se calculó y bajo qué condiciones puede usarse. Esto ayuda a que otras personas puedan revisar o repetir el análisis sin problema.

Antes de usar los datos en los análisis estadísticos, se revisó que fueran consistentes y que no presentaran errores con el paso del tiempo. Si se encontraron datos faltantes, cambios en la forma de medir o diferencias entre fuentes, se aplicaron criterios claros y cuidadosos para corregirlos o completarlos. Todo este proceso quedó documentado con señales de control para mantener la transparencia. La idea fue cuidar la calidad de los datos sin modificar su sentido original ni forzar resultados.

3.1.1 Fuentes y descarga

Las series de datos que se usaron en este estudio vienen de fuentes oficiales, tanto de Colombia como internacionales, que cuentan con metodologías bien establecidas y cubren el periodo que se quería analizar.

Los datos sobre desigualdad se tomaron de la base *World Inequality Database* (2024) y de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2024). Las cifras socioeconómicas provienen del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2024). La información ambiental se obtuvo de la base *FAOSTAT Forestry* de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2024), del Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales (2023) y de la base *Global Footprint Network* (2024). Por último, los datos macroeconómicos fueron extraídos de los *World Development Indicators* del Banco Mundial (2024) y Para la caracterización del conflicto armado y su relación territorial con el deterioro ambiental se emplearon insumos del Centro Nacional de Memoria Histórica (2022).

Las descargas de estas series se hicieron entre octubre y noviembre de 2025. En todos los casos, se guardaron los archivos tal como estaban en las fuentes originales, y se anotó con cuidado la fecha en que se consultaron y la versión de los datos disponible en ese momento. Esto ayudó a asegurar que los datos fueran rastreables y a evitar cambios no registrados durante el análisis posterior.

3.1.2 Estructura de archivos y trazabilidad

Los datos se acomodaron de manera sencilla para que fuera fácil encontrarlos y revisar cómo se usaron. Se hizo una carpeta principal con otras carpetas dentro, cada una con información de una fuente diferente. En cada una se guardaron tanto los archivos originales descargados como las versiones ya procesadas que se usaron para el análisis.

Todo el trabajo de procesamiento se hizo con scripts reproducibles en Stata 15. Cada paso, limpieza, transformación, interpolación y estandarización de las series, quedó registrado automáticamente en archivos de comandos y logs. Gracias a esto, es posible seguir todo el proceso paso a paso. Estos scripts, junto con sus resultados, están disponibles en el Apéndice A para que cualquier persona pueda replicar o revisar el análisis por su cuenta.

Cada base de datos procesada fue identificada con un sistema de control de versiones, que incluye un número de versión y un código hash para verificar su integridad. Esto evita confusiones entre archivos y asegura que los resultados que se presentan correspondan exactamente a las series de datos utilizadas.

Este sistema permite distinguir claramente entre los datos originales, los que fueron modificados y los que se usaron directamente en los análisis econométricos, sin hacer suposiciones adicionales sobre ajustes, convergencias o equilibrios en los datos.

La Tabla 1 muestra un resumen con los metadatos de cada variable usada en el estudio: su símbolo, unidad de medida, frecuencia, periodo cubierto, fuente, fecha de consulta y tipo de licencia. Esta información facilita entender el origen y las características de cada indicador, así como las limitaciones relacionadas con su disponibilidad y forma de construcción.

Tabla 1

Metadatos por variable

Variable	Símbolo	Unidad	Cobertura	Fuente principal
Índice de Gini	GINI	0–1 (o 0–100)	1980–2023	DANE / CEPAL / WDI
Índice de Palma	PALMA	Razón (D10/D40)	1980–2023	CEPAL / WDI
Concentración de la tierra	LAND_GINI	Índice	Cortes anuales ¹ no	FAO / DANE
PIB real (precios constantes)	PIB	USD constantes 2015 ²	1980–2023	WDI (Banco Mundial)
Emisiones de CO ₂ per cápita	CO2pc	tCO ₂ /hab	1980–2023	WDI / IDEAM
Cobertura forestal / deforestación	FOREST	% o ha	1980–2023	IDEAM / FAO
Huella ecológica per cápita	HUELLA	gha/hab	1980–2023	Global Footprint Network
Vulnerabilidad climática	VULN	Índice (0–100)	1995–2023	ND-GAIN

Nota. Elaboración propia a partir de datos oficiales de DANE, CEPAL, World Development Indicators (Banco Mundial), IDEAM, FAO, Global Footprint Network y ND-GAIN.

Nota. ¹ **Cortes no anuales:** la información sobre concentración de la tierra se encuentra disponible únicamente para años específicos, por lo que fue incorporada como serie discontinua y documentada como tal en la base de datos.

² **PIB real:** expresado en dólares estadounidenses constantes (USD) con año base 2015, de acuerdo con la metodología del *World Development Indicators* (WDI).

3.1.3 Homologación temporal y consistencia

Se revisó que todos los datos correspondieran a años completos y que cubrieran el mismo periodo de tiempo. Si se encontraron cambios en la forma de recolectar los datos, actualizaciones o diferencias entre fuentes, se usaron las versiones oficiales más recientes. Cuando hubo ajustes importantes, se explicaron con notas técnicas, pero no se cambiaron los valores originales, a menos que la fuente oficial lo indicara.

También se unificaron las unidades de medida para poder comparar los datos a lo largo del tiempo. Los datos relacionados con precios se ajustaron para que todos estén en precios constantes del año 2015, lo que permite compararlos sin que el efecto de la inflación los altere.

Por otro lado, algunas variables sobre el medio ambiente se transformaron usando logaritmos naturales solo cuando fue necesario, para facilitar su análisis. Estos cambios se hicieron por razones técnicas, pero no significan que se haya asumido cómo se comportarán los datos en el futuro.

Se revisaron los datos con calma para encontrar errores o información que faltaba. Si faltaba algún dato, se rellenó con un valor aproximado, hecho con cuidado, y se le puso una marca para que se sepa que fue ajustado. Todo esto se hizo para que la información siguiera siendo clara y confiable, sin alterar lo que los datos realmente quieren decir ni empujar los resultados hacia algo que no son.

Tabla 2*Homologación, transformaciones y control de calidad*

Variable	Transformación	Outliers	Interpolación	Flags	Uso analítico
CO ₂ per cápita (CO2pc)	Logaritmo	Winsorización P10–P90	Lineal ≤ 3 años	flag_interp_co2	Dependiente (Modelo 1)
Huella ecológica (HUELLA)	Logaritmo	Revisión z-score > 3	No (bloques largos excluidos)	flag_interp_huella	Dependiente (Modelo 2)
Índice de Gini (GINI)	Nivel	Revisión de saltos metodológicos	Lineal ≤ 3 años	flag_interp_gini	Explicativa
PIB real (PIB)	Logaritmo	N/A	No	—	Control
Cobertura forestal (FOREST)	Nivel / Δ%	Cambios de sensor	No sin validación	flag_method	Robustez / Descriptivo
Vulnerabilidad climática (VULN)	Nivel	N/A	N/A	—	Institucional

Nota. Elaboración propia a partir de datos de DANE, IDEAM, CEPAL, World Development Indicators (Banco Mundial) y FAO.

3.1.4 Interpolación y pruebas de sensibilidad

La técnica de interpolación lineal, que sirve para llenar espacios vacíos en los datos, se usó solo cuando faltaban hasta tres años seguidos, y siempre con mucho cuidado. Cada uno de estos datos completados fue marcado con una señal especial (flag), para que fuera fácil distinguirlos de los datos originales durante todo el análisis.

Para estar seguros de que esos pequeños ajustes no cambiaran los resultados, se volvió a hacer todo el análisis, pero ahora sin los datos que se habían rellenado. Luego se compararon ambos resultados, con y sin esos datos, para ver si había alguna diferencia importante. Esto sirvió para comprobar que las relaciones encontradas no estaban influenciadas por esos pequeños ajustes. El objetivo no fue ajustar o cambiar las series, sino ser claros y responsables con el manejo de los datos.

3.1.5 Detección de valores atípicos y rupturas metodológicas

Para detectar valores atípicos, se usaron gráficos (como series de tiempo y diagramas de dispersión) y reglas estadísticas muy cuidadosas, como revisar los extremos de la distribución (P10–P90) y analizar los z-scores. Estas herramientas sirvieron solo para identificar datos que pudieran tener un impacto fuerte en el análisis, pero no se cambiaron los valores originales, a menos que la fuente oficial diera una razón clara para hacerlo.

Cuando se encontraron cambios en la forma en que se recolectaron, estimaron o midieron las variables, se anotaron en notas técnicas y se citaron las fuentes correspondientes. En esos casos, los datos originales se dejaron tal como estaban, priorizando mantener la historia completa de las series sin hacer ajustes artificiales que pudieran dar una idea falsa de orden o estabilidad.

3.1.6 Reproducibilidad y control de versiones

Todo el procesamiento de los datos se hizo en Stata 15, usando scripts que registran paso a paso lo que se hizo con cada serie. Cada comando, registro de ejecución y hoja con detalles de los datos se guardó en una carpeta de respaldo, lo que permite seguir todo el proceso, desde los archivos originales hasta los resultados finales.

Para nombrar las variables y archivos, se usó un estilo claro y ordenado (`snake_case`), que ayuda a que los scripts sean fáciles de leer y entender. También se fijaron semillas de aleatoriedad (`seeds`) cuando fue necesario, para que cualquier persona pueda repetir el análisis y obtener los mismos resultados. Todo este sistema de control ayuda a que el proceso sea más transparente, sin forzar los resultados ni depender de suposiciones sobre estabilidad o comportamiento futuro.

3.1.7 Consideraciones éticas y de licencia de datos

Toda la información que se usó en este estudio es pública y se manejó siguiendo las reglas de cada fuente. No se usaron datos personales ni confidenciales. El uso de los datos fue

únicamente con fines académicos y de investigación, siempre con responsabilidad, transparencia y cuidando que todo pueda ser rastreado y entendido con claridad.

3.2 Variables

Este estudio usa un conjunto de variables para analizar distintos aspectos del sistema social, económico y ambiental de Colombia entre 1980 y 2023. Se eligieron estos indicadores porque permiten estudiar cómo se relacionan entre sí la desigualdad social, el crecimiento económico, el impacto ambiental y la capacidad de las instituciones, en línea con el enfoque teórico del trabajo.

Las variables principales que se analizaron fueron las emisiones de CO₂ por persona y la huella ecológica per cápita. Ambas ayudan a medir qué tanto se usan la energía y los recursos naturales y qué tan sostenibles son estos usos desde un punto de vista ambiental.

Para entender la desigualdad, se incluyeron el índice de Gini y el índice de Palma, que muestran distintas formas de medir cómo se reparte el ingreso en la población. También se incorporó el PIB real a precios constantes de 2015 como una forma de ver cómo ha cambiado la economía en general, sin asumir que el crecimiento por sí solo corrige otros problemas.

Además, se consideró la cobertura forestal como señal de pérdida de recursos naturales y cambios en el uso del suelo. También se incluyó el índice de vulnerabilidad climática del Notre Dame Global Adaptation Initiative (University of Notre Dame, 2024), que ayuda a evaluar qué tan preparado está el país para enfrentar los efectos del cambio climático. Estas variables amplían el análisis, sumando una mirada más territorial e institucional al tema ambiental.

También se tomó en cuenta la concentración de la tierra como una forma de mostrar la desigualdad en el campo. Como no existen datos consistentes año a año, esta variable se usó únicamente de forma descriptiva y no se incluyó en los modelos estadísticos. Aun así, esta información ayuda a entender mejor cómo sigue existiendo desigualdad en el campo

colombiano.

Todas las variables se trabajaron con datos por año y se ajustaron, cuando fue necesario, para facilitar su análisis. Algunas se usaron tal cual y otras se transformaron en logaritmos, dependiendo de lo que se necesitaba para hacer los cálculos. Estas decisiones se tomaron por razones técnicas, sin asumir que las relaciones entre los datos fueran estables o que siempre se comportaran de la misma manera.

En pocas palabras, las variables que se eligieron permiten ver de manera completa cómo se conectan la desigualdad social, el impacto ambiental y la capacidad de respuesta de las instituciones en Colombia, manteniendo coherencia entre lo que se plantea en la teoría y lo que se analiza con los datos.

Tabla 3*Operacionalización de las variables socioecológicas (1980–2023)*

Variable	Fuente principal	Unidad	Transformación	Orientación teórica	Mecanismo socioecológico
Emisiones de CO ₂ per cápita (CO ₂ pc)	WDI / IDEAM	tCO ₂ /hab	Logaritmo	Positiva	Crecimiento económico intensivo en energía y uso de combustibles fósiles
Huella ecológica per cápita (HUELLA)	Global Footprint Network	gha/hab	Logaritmo	Positiva	Expansión del consumo material y uso desigual de recursos biofísicos
Índice de Gini (GINI)	DANE / CEPAL / WDI	0–1	Nivel	Positiva	Desigualdad distributiva asociada a patrones de consumo intensivos y captura de renta ambiental
Índice de Palma (PALMA)	CEPAL / WDI	Razón (D10/D40)	Nivel	Positiva	Concentración del ingreso en los estratos altos y presión ecológica asociada al sobreconsumo
PIB real (PIB)	World Bank - WDI	COP constantes 2015	Logaritmo	Positiva	Expansión productiva y metabólica de la economía
Cobertura forestal (FOREST)	IDEAM / FAO	% del territorio	Nivel / Δ%	Negativa	Deforestación asociada a expansión agropecuaria, extractiva y reconfiguración territorial
Vulnerabilidad climática (VULN)	ND-GAIN	Índice (0–100)	Nivel	Positiva	Limitaciones institucionales frente a impactos ambientales y climáticos
Concentración de la tierra (LAND_GINI)	Oxfam / IGAC	Índice	Nivel	Positiva	Estructura agraria desigual y degradación territorial persistente

Nota. Elaboración propia a partir de datos de DANE, World Development Indicators (Banco Mundial), CEPAL, IDEAM, FAO, Global Footprint Network (GFN), ND-GAIN, IGAC y Oxfam.

3.3 Diseño del modelo econométrico

Este estudio busca entender cómo han estado conectadas, a lo largo del tiempo, la desigualdad social y el deterioro del medio ambiente en Colombia, entre 1980 y 2023. La idea es ver si estas dos situaciones avanzan juntas de forma constante o si, por el contrario, van por caminos distintos, lo que podría indicar que hay un desequilibrio más profundo en el país.

Para analizar esto, se usó un método llamado cointegración, creado por Engle y Granger en 1987. Ellos mostraron que, aunque algunas variables cambien mucho con el tiempo, es posible que juntas sigan un comportamiento más estable. Este tipo de análisis permite diferenciar entre lo que pasa en el corto plazo y las relaciones que se mantienen en el tiempo, sin asumir que todo siempre se equilibra por sí solo.

El método principal que se usó fue el modelo ARDL (Modelos Autorregresivos con Rezagos Distribuidos), propuesto por Pesaran y su equipo en 2001. También se usaron otras herramientas, como el modelo de corrección del error (ECM) y las pruebas de causalidad de Granger. Estas se aplicaron con un enfoque exploratorio, es decir, para conocer mejor cómo se comportan los datos, sin asumir desde el principio que todo en el sistema se acomoda solo o tiende al equilibrio por naturaleza.

El modelo ARDL es útil porque permite trabajar con datos que no siguen exactamente el mismo patrón, lo cual es común en este tipo de estudios. Se eligió este método por razones técnicas, ya que es flexible y ayuda a manejar mejor los efectos que aparecen con el tiempo. No se usó pensando que las variables estuvieran en equilibrio, sino porque se adapta bien a las características de los datos.

Además, el modelo ayuda a identificar si los efectos entre desigualdad, economía y medio ambiente ocurren al mismo tiempo o con cierto retraso, ya que cada uno puede moverse a su propio ritmo. No se parte de la idea de que las relaciones entre estas variables sean siempre estables o que se corrijan solas. Más bien, se deja que los datos muestren si hay o no ese tipo de comportamientos.

En resumen, este enfoque econométrico se usó como una herramienta para poner a prueba, con datos reales, las ideas del marco teórico. No se buscó forzar un resultado. De hecho,

si el análisis muestra que no hay relaciones estables o que el sistema no se ajusta a largo plazo, esos también son hallazgos importantes para entender mejor lo que está pasando.

3.3.1 Especificaciones básicas

Se plantearon dos modelos econométricos para analizar cómo se relacionan, a lo largo del tiempo, la desigualdad en la distribución del ingreso y la presión sobre el medio ambiente en Colombia. Estos modelos no buscan explicar todo el sistema en profundidad, sino más bien observar cómo interactúan, en la práctica, variables ambientales, distributivas y económicas. No se parte de suposiciones sobre que estas relaciones sean estables o que tiendan a un equilibrio con el tiempo.

El primer modelo toma las emisiones de CO₂ por persona como una forma de medir la presión que el uso de energía genera sobre el medio ambiente. El segundo modelo usa la huella ecológica por persona, que ofrece una visión más amplia, ya que incluye el uso total de los recursos naturales. En ambos casos, se incluyen elementos que permiten observar cómo los efectos se mantienen o cambian con el tiempo, incluyendo rezagos (es decir, efectos que se manifiestan después de cierto periodo) tanto en las variables de desigualdad como en el crecimiento económico.

Modelo 1. Emisiones de CO₂ y desigualdad

$$\ln(CO2_t) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \ln(CO2_{t-i}) + \sum_{j=0}^{q1} \gamma_j GINI_{t-j} + \sum_{k=0}^{q2} \delta_k \ln(PIB_{t-k}) + \varepsilon_t$$

Modelo 2. Huella ecológica y desigualdad

$$\ln(HUELLA_t) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \ln(HUELLA_{t-i}) + \sum_{j=0}^{q1} \gamma_j GINI_{t-j} + \sum_{k=0}^{q2} \delta_k \ln(PIB_{t-k}) + \varepsilon_t$$

Donde:

- $\ln(CO2_t)$ y $\ln(HUELLA_t)$ representan indicadores de presión ambiental.
- $GINI_t$ corresponde al índice de desigualdad del ingreso.
- $\ln(PIB_t)$ es el PIB real expresado en precios constantes, incorporado como variable de control macroeconómico.
- α_0 es el término constante.
- ε_t es un término de error con media cero y varianza constante.
- p, q_1, q_2 representan los rezagos óptimos seleccionados mediante criterios de información.

Estas especificaciones ayudan a entender cómo se relacionan, con el paso del tiempo, la desigualdad social, el crecimiento económico y la presión sobre el medio ambiente. Se parte del reconocimiento de que los procesos ambientales no siempre responden de inmediato: sus efectos pueden tardar en notarse, acumularse poco a poco y reaccionar de forma diferente frente a los cambios económicos o en la forma en que se reparte la riqueza. Por eso, los modelos no parten de la idea de que todo esté en equilibrio o que se corrija automáticamente, sino que buscan observar, a través de los datos, si hay relaciones estables, inestables o sin conexión clara entre las variables.

3.3.2 Pruebas de integración y selección de rezagos

La estacionariedad de las series se evaluó mediante pruebas de raíces unitarias, incluyendo la prueba de Phillips y Perron (1988), adecuada para series con posible heterocedasticidad y correlación serial. Ambas pruebas se hicieron considerando tendencia y una constante, y se usó un nivel de confianza del 5 %. La idea fue conocer bien cómo se comporta cada variable y así poder elegir el modelo que mejor se ajustara, sin dar por hecho desde el inicio que los datos son estables o que todo tiende naturalmente al equilibrio.

Los resultados mostraron que la mayoría de las variables tienen un comportamiento llamado I(1), lo que significa que necesitan un paso para volverse estables en el análisis. Pero la variable de cobertura forestal (FOREST) se comportó de forma distinta: mostró un patrón I(2), lo que indica que su deterioro no solo se mantiene, sino que se va acumulando con el tiempo. Esto no se interpretó como un error en los datos, sino como una muestra real de lo que pasa con la deforestación en el país, un problema profundo, constante y ligado a la forma en que se usa y se transforma el territorio.

Como el modelo ARDL (de Pesaran et al., 2001) no permite usar variables I(2), la cobertura forestal no se incluyó en los modelos principales. Aun así, la variable sí se analizó por separado en otras partes del estudio, como en los análisis descriptivos y en las pruebas de solidez. Esta decisión fue estrictamente técnica y no quiere decir que se haya dejado de lado lo territorial; al contrario, ese tema se aborda con otros enfoques dentro del mismo estudio. Para determinar cuántos rezagos (valores pasados) incluir por variable, se usaron dos métodos automáticos: el criterio de información de Akaike (AIC) y el de Schwarz (BIC). Se probaron combinaciones de hasta dos rezagos por variable. Se le dio prioridad al AIC porque es más útil cuando se trabaja con muestras pequeñas y porque detecta mejor los efectos que tardan en aparecer, algo muy común en temas sociales y ambientales.

En resumen, todo este proceso permitió construir modelos que se ajustan bien a cómo se comportan los datos, sin forzar que todas las variables sean estables ni asumir que sus relaciones siempre se corrigen por sí solas.

3.3.3 Prueba de cointegración (Bounds Test)

Después de analizar cómo se comportan las series de datos y de dejar por fuera las variables que no cumplían con los requisitos técnicos (como las que tienen integración de orden dos), se aplicó una prueba llamada Bounds Test, propuesta por Pesaran y su equipo en 2001.

Esta prueba sirve para revisar si existe, o no, una relación de largo plazo entre la desigualdad en la distribución del ingreso, el crecimiento económico y la presión sobre el medio ambiente. Todo esto se hizo sin asumir desde el principio que el sistema tiende automáticamente al equilibrio.

El Bounds Test compara dos ideas: la primera (hipótesis nula) dice que no hay una relación estable de largo plazo entre las variables del modelo; la segunda (hipótesis alternativa) plantea que sí existe al menos una relación de ese tipo, es decir, que al menos uno de los efectos a largo plazo es significativo:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

frente a

$$H_1: \beta_i \neq 0 \quad \text{para algún } i$$

El resultado de la prueba (F-stat) se comparó con dos valores de referencia establecidos por Pesaran y su equipo en 2001: uno más bajo (I(0)) y otro más alto (I(1)). Si el valor obtenido superaba el límite superior, eso significaba que sí existía una relación estable y duradera entre las variables. Pero si quedaba por debajo del límite inferior, no se encontró suficiente evidencia para afirmar que esa relación existiera. Y si el valor cae entre los dos, el resultado no es concluyente.

El análisis se hizo con un nivel de confianza del 95 % (es decir, un 5 % de margen de error), y se usaron los valores de referencia adecuados para modelos con dos variables explicativas: la desigualdad y el PIB real.

Cuando se encontró que sí había una relación de largo plazo entre las variables (es decir, cointegración), se usó un modelo llamado de corrección del error (ECM) para ver cómo se ajustan esas variables en el corto plazo. Cuando no se encontró una relación de largo plazo, se interpretó que no hay un vínculo firme que mantenga conectadas a esas variables a lo largo del tiempo.

Es importante decir que esta prueba no se usó para comprobar si el modelo era correcto o no. Más bien, se utilizó como una herramienta para ver si las relaciones entre los datos son estables o si, por el contrario, están desconectadas o se comportan de forma inestable. Desde este enfoque, no encontrar una relación estable también es útil, porque puede mostrar que el sistema está en desequilibrio, lo cual va en línea con la idea central del estudio sobre las tensiones profundas entre lo social, lo económico y lo ambiental.

3.3.4 Modelo de Corrección del Error (ECM)

Cuando se identifica una relación de largo plazo entre las variables usando el modelo ARDL, se usa el modelo de corrección del error (ECM) para ver cómo se comportan esas variables en el corto plazo. Este modelo ayuda a entender si los cambios que ocurren de un año a otro siguen, en parte, esa relación más estable que ya se había encontrado. Eso sí, no se parte de la idea de que el sistema se corrija por completo o de forma rápida ante cualquier desequilibrio.

Especificación general del ECM

$$\Delta y_t = \alpha + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=0}^{q-1} \theta_j \Delta x_{t-j} + \lambda ECT_{t-1} + v_t$$

Donde:

- Δy_t = Variaciones de corto plazo
- Δy_{t-i} = Rezagos de la variable dependiente
- Δx_{t-j} = Variaciones de las variables explicativas
- ECT_{t-1} = Término de corrección del error
- λ = Parámetro de corrección
- v_t = Término de error

Interpretación del término de corrección del error

El término ECT_{t-1} representa cuánto se desvió el sistema respecto a la relación de largo plazo que se estimó con el modelo ARDL. El coeficiente λ muestra qué tan rápido y en qué dirección se corrige ese desajuste. Si λ es negativo, eso indica que el sistema está corrigiendo parcialmente la desviación. En cambio, si el valor es cercano a cero, significa que el ajuste es muy lento o casi no ocurre. En este estudio, el valor de λ no se interpreta como una señal de que el sistema siempre vuelve al equilibrio. Más bien, se usa como una medida que muestra qué tanto, y en qué medida, las diferencias de largo plazo afectan lo que pasa en el corto plazo aunque esa corrección no sea completa.

Por ejemplo, un valor de:

$$\lambda = -0.45$$

Significa que, en promedio, el 45 % de la desviación frente a la relación de largo plazo se corrige en un periodo. Sin embargo, esto no quiere decir que el problema se resuelva por completo ni que haya un mecanismo que asegure el ajuste total.

¿Para qué sirve el ECM?

El modelo ECM permite diferenciar entre cambios temporales de corto plazo y relaciones que se mantienen en el tiempo. Este modelo parte de la idea de que los cambios sociales y ambientales no siempre se ven de inmediato. A veces los efectos tardan en aparecer, otras veces solo se corrigen en parte, o simplemente siguen repitiéndose con el tiempo.

Siguiendo la mirada socioecológica del estudio, no se asume que el sistema sea estable ni que todo se acomode por sí solo. Más bien, el modelo ayuda a analizar situaciones donde los problemas se mantienen, las variables no siempre están conectadas entre sí, o los ajustes no

logran cerrarse del todo, como ocurre con la desigualdad social y la presión sobre el medio ambiente.

3.3.5 Causalidad y diagnósticos

Para entender en qué dirección se dan las relaciones entre la desigualdad social y el deterioro ambiental a lo largo del tiempo, se aplicaron pruebas de causalidad de Granger. Estas se usaron dentro del modelo de corrección del error (ECM) cuando se encontró una relación de largo plazo y en modelos VAR con datos en diferencias cuando no fue así.

Estas pruebas ayudan a ver si los valores pasados de una variable sirven para anticipar el comportamiento de otra. Esto no quiere decir que una cosa provoque directamente la otra, ni que siempre pase en una sola dirección. Lo que estas pruebas ayudan a ver es si lo que ocurrió antes con una variable puede dar pistas sobre cómo se va a comportar la otra con el tiempo.

Hipótesis de la prueba de Granger

H_0 : X no causa a Y en el sentido de Granger

frente a

H_1 : X causa a Y en el sentido de Granger

Cuando se identifica una relación de largo plazo entre las variables usando el modelo ARDL, se usa el modelo de corrección del error (ECM) para ver cómo se comportan esas mismas variables en el corto plazo (Pesaran et al., 2001). Este modelo ayuda a entender si los cambios que ocurren de un año a otro siguen, en parte, la relación más estable que ya se había encontrado.

El resultado de la prueba (F-stat) se comparó con dos valores de referencia establecidos por Pesaran et al. (2001): uno que marca el límite más bajo (I(0)) y otro que marca el más alto (I(1)). Si el resultado superaba ese límite superior, quería decir que sí había una relación firme y constante entre las variables con el paso del tiempo.

Esto no quiere decir que una cosa provoque directamente a la otra, ni que siempre pase en un solo sentido. Más bien, lo que estas pruebas ayudan a ver es si lo que ocurrió antes de una variable puede dar pistas sobre cómo se va a comportar la otra con el tiempo (Engle & Granger, 1987).

En los casos donde no se encontró una relación de largo plazo, se interpretó que no hay un vínculo firme que mantenga conectadas a esas variables a lo largo del tiempo. Es importante decir que esta prueba no se usó para ver si el modelo estaba “bien” o “mal”, sino para entender mejor cómo se relacionan las variables a lo largo del tiempo. Ayuda a ver si siguen un patrón constante o si, por el contrario, se mueven sin mucha conexión entre sí. Desde esta mirada, no encontrar una relación estable también dice mucho: puede ser una señal de que el sistema está desequilibrado, lo que va de la mano con la idea central del estudio sobre las tensiones que existen entre lo social, lo económico y lo ambiental (Pesaran et al., 2001).

Además, las pruebas de causalidad de Granger se aplicaron para ver en qué dirección se dan las relaciones a lo largo del tiempo. Estas pruebas ayudan a ver si los valores pasados de una variable mejoran la predicción de otra más adelante, sin implicar causalidad estructural en un sentido económico o institucional (Engle & Granger, 1987).

Los resultados de estas pruebas se reportan mostrando valores p , la dirección de la relación temporal y el número de rezagos óptimos seleccionados con base en el criterio de información de Akaike (AIC), que facilita capturar dinámicas donde los efectos pueden tardar en manifestarse.

Para asegurar que los resultados del modelo sean confiables, se aplicaron varias pruebas estadísticas estándar:

- Breusch-Godfrey, para revisar si los errores se repiten en el tiempo.

- White, para ver si los errores tienen varianza constante.
- Jarque-Bera, para comprobar si los errores siguen una distribución normal.
- Ramsey RESET, para verificar que la forma del modelo sea la adecuada.
- CUSUM y CUSUMSQ, para analizar si los parámetros se mantienen estables con el tiempo.

Que los modelos hayan pasado estas pruebas da mayor confianza en lo que muestran los resultados y en las conclusiones del estudio. Aun así, eso no quiere decir que el sistema analizado sea completamente estable o predecible. En este trabajo, las pruebas de causalidad y las de diagnóstico se usan como herramientas para entender mejor cómo cambian las relaciones entre las variables con el tiempo y qué tan firmes son los resultados, siempre teniendo en cuenta que el sistema socioecológico colombiano es complejo y que esas relaciones pueden no ser tan claras o constantes.

3.3.6 Robustez y sensibilidad

Para asegurarse de que los resultados fueran consistentes y no dependieran de decisiones puntuales sobre cómo se construyeron los datos o cómo se armó el modelo, se hicieron varias pruebas de robustez y sensibilidad. Estas pruebas no tienen como objetivo confirmar que las relaciones sean completamente estables, sino ver si los patrones generales se mantienen incluso cuando se hacen ciertos cambios razonables en el análisis.

Primero, se volvieron a correr los modelos, pero solo con los datos tal como fueron recogidos originalmente, dejando fuera los que se habían rellenado para completar espacios en blanco. Estos datos ajustados estaban marcados con señales de control (flags). El objetivo fue ver si los resultados seguían siendo parecidos sin esas correcciones. Y sí, al quitar esos datos

interpolados, las relaciones principales no cambiaron mucho ni en su dirección ni en su intensidad.

Después, se probaron otras versiones de las variables principales para ver si los resultados eran sensibles al tipo de medida utilizada. Por ejemplo, en vez del índice de Gini se usó el índice de Palma para medir desigualdad, y en lugar de las emisiones de CO₂ per cápita, se usó la huella ecológica o la cobertura forestal, según lo permitiera la disponibilidad y el comportamiento de las series. Aun con estos cambios, los signos y las relaciones generales entre las variables se mantuvieron.

También se dividió el periodo de análisis en submuestras más cortas (1990–2023 y 1995–2023) para ver si los resultados estaban influenciados por eventos muy antiguos o por cambios recientes. En el análisis más reciente, además, se incorporó el índice de vulnerabilidad climática ND-GAIN como medida de capacidad institucional. En ambos casos, los resultados fueron consistentes, sin cambios importantes en la dirección de las relaciones observadas.

Por último, se compararon modelos construidos con datos en niveles y en logaritmos, dependiendo de cómo se comportaban las series y de la facilidad para interpretar los resultados. Esto sirvió para confirmar que las conclusiones generales no dependen de haber usado una sola forma de transformación.

En resumen, estas pruebas mostraron que la relación entre desigualdad y presión ambiental no depende de una sola forma de analizar los datos, sino que es un patrón que se repite, incluso cuando se cambian algunas partes del modelo. Aun así, eso no quiere decir que el sistema esté equilibrado ni que se corrija por sí solo. Más bien, lo que reflejan estos resultados es que existen dinámicas que se mantienen en el tiempo y que muchas veces parecen ir por caminos separados dentro del sistema socioecológico colombiano.

3.3.7 Reproducibilidad

Todo el procesamiento y análisis estadístico se hizo con el programa Stata 15 (StataCorp, 2021), lo que permitió mantener un registro claro y ordenado de cada paso, asegurando que cualquier persona pueda revisar o repetir el trabajo si lo necesita. Para estimar los modelos y hacer las pruebas estadísticas se usaron varios comandos del software, como:

ardl, estatic, ardlbounds, estatbgodfrey, estathettest, v arg r anger, varsoc

Para garantizar que los resultados se puedan reproducir exactamente, se fijaron semillas de aleatoriedad cuando fue necesario, y se guardaron de forma organizada todos los scripts, bases de datos, registros de ejecución (logs) y salidas con los resultados. Todo este material está guardado en una carpeta de respaldo, ordenada por versiones, y se encuentra referenciado en el Anexo A. Gracias a esto, cualquier persona interesada puede verificar o replicar el análisis de forma independiente.

3.3.8 Limitaciones

Los resultados de este estudio deben entenderse considerando algunas limitaciones, tanto en los métodos usados como en los datos disponibles.

Para empezar, los datos que se analizaron son de todo el país y se presentan una vez por año. Esto significa que no se pueden ver bien las diferencias entre regiones ni captar lo que pasa a nivel local en temas de desigualdad o medio ambiente.

Además, algunas variables ambientales, como la cobertura de bosques o la huella ecológica, pueden tener ciertos errores. Esto puede deberse a que se basan en imágenes satelitales, a cambios en la forma de medir o a ajustes que se hicieron después. Aunque se hicieron pruebas para reducir el impacto de estos posibles errores, es importante tenerlos en cuenta al interpretar los resultados.

Las relaciones detectadas a través de las pruebas de causalidad reflejan patrones estadísticos y temporales, pero no deben entenderse como causas directas en términos económicos, políticos o institucionales.

El índice ND-GAIN, que mide vulnerabilidad climática e institucional, solo está disponible desde 1995. Por eso, no se pudo incluir en los análisis del inicio del periodo de estudio.

Estas limitaciones no le quitan valor a lo que se encontró, pero sí ayudan a poner los resultados en perspectiva. Nos recuerdan que estamos tratando con un sistema complicado, donde las cosas no siempre pasan como uno esperaría, y donde las conexiones entre los distintos temas pueden ser difíciles de ver o no mantenerse igual con el tiempo.

Para poder entender mejor esa complejidad, se usaron herramientas estadísticas muy completas, pero también se tuvo una mirada más abierta, sin dar por hecho que todo se arregla solo o que el sistema siempre encuentra un equilibrio por sí mismo. La construcción cuidadosa de la base de datos, junto con el uso de modelos ARDL, pruebas de cointegración, análisis de causalidad y pruebas de robustez, permitió examinar con profundidad cómo se relacionan, a lo largo del tiempo, la desigualdad social y la presión sobre el medio ambiente en Colombia.

Con este enfoque como base, el siguiente capítulo presentará los resultados del análisis, tanto los descriptivos como los más técnicos, para mostrar cómo las brechas en la distribución del ingreso están ligadas a procesos que sostienen el deterioro ambiental y aumentan la vulnerabilidad institucional en el país.

4 Resultados Econométricos y Análisis Empírico

El análisis empírico se hizo usando una base de datos llamada `masterbase_final.dta`, construida en Stata 15 con información anual para Colombia entre 1980 y 2023. Esta base reúne en un mismo espacio datos sobre desigualdad, economía, medio ambiente e instituciones, con el objetivo de ver cómo interactúan entre sí a lo largo del tiempo y verificar, con datos reales, si esas relaciones son estables o no.

La construcción de esta base implicó un proceso ordenado de juntar, limpiar y revisar los datos, buscando que los resultados puedan ser replicados por otros y que todo tenga sentido dentro del enfoque socioecológico del estudio. Por eso, el análisis no parte de la idea de que todo se corrige por sí solo: se usan herramientas estadísticas para ver si las dinámicas observadas tienen algún tipo de relación que se mantenga en el tiempo o si, en cambio, muestran procesos que se mantienen persistentes, desfasados o que dependen del camino que ha seguido el sistema, lo cual es coherente con la idea de que el sistema no está en equilibrio.

Los datos provienen de fuentes oficiales y repositorios internacionales con metodologías bien establecidas, como el DANE, el Banco Mundial (World Development Indicators), la FAO, el IDEAM, ND-GAIN, la CEPAL, Oxfam, el IGAC, el CNMH y UCDP-PRIO. Para facilitar la comparación entre indicadores, las variables se pusieron en unidades equivalentes: por ejemplo, el PIB en precios constantes de 2015, las emisiones en toneladas per cápita, la huella ecológica en hectáreas globales y los distintos índices normalizados.

Para fortalecer la calidad de los datos se hicieron controles en tres niveles:

Continuidad temporal: se verificó que los datos tuvieran cobertura anual y se documentaron cambios metodológicos cuando ocurrieron.

Unidades comparables: se hicieron ajustes a los datos para que todos usaran las mismas medidas y se pudieran comparar sin problema.

Consistencia entre fuentes: cuando había datos parecidos de diferentes lugares, se revisó que dijeran lo mismo o, si no, se hicieron correcciones para que todo coincidiera mejor.

Todos los detalles sobre los metadatos y el proceso de preparación de la base están descritos en el Apéndice A, lo que permite seguir paso a paso cómo se hizo el trabajo.

4.1 Hechos estilizados y patrones descriptivos de las variables (1980–2023)

En esta parte se presentan algunos patrones generales sobre cómo han cambiado, a lo largo del tiempo, la desigualdad en la distribución del ingreso, el crecimiento económico y la presión sobre el medio ambiente en Colombia entre 1980 y 2023. La idea no es buscar causas ni suponer que todos los procesos tienden a equilibrarse, sino simplemente mostrar cómo se han comportado estas variables: sus niveles, si han subido o bajado, y qué tan constantes han sido.

La Tabla 4 muestra un resumen de los principales datos usados en el estudio, tomados de la base `masterbase_final.dta`. Las diferencias en la cantidad de observaciones entre variables se deben a que no todas las fuentes tienen datos para todos los años. Esto no representa un problema metodológico, ya que las variables con menos datos solo se usan para describir y no entran en los análisis más técnicos.

Tabla 4.

Estadísticos descriptivos de las variables

Variable	Obs.	Media	Desv. estándar	Mín.	Máx.
Año	44	2001	12.75	1980	2023
PIB real	44	4.65e14	1.16e14	3.23e14	6.86e14
Índice de Gini	44	54.00	2.09	49.7	58.5
Índice de Palma	21	1.51	0.27	1.09	2.01
Concentración de la tierra	4	78.0	5.72	70	83
CO ₂ per cápita	44	1.70	0.19	1.32	2.09
Cobertura forestal	33	55.62	1.65	52.95	58.55
Huella ecológica	44	2.03	0.14	1.81	2.32
Vulnerabilidad climática	29	42.65	1.32	40.47	44.31
Conflicto armado	43	1.16	0.42	0	2

Nota. Elaboración propia a partir de la base de datos construida para el estudio.

Nota. Vale la pena aclarar que algunas variables no tienen datos completos para todos los años. Es el caso del índice de Palma, la concentración de la tierra y el índice de vulnerabilidad climática. Por eso, se usan solo para describir y comparar situaciones, pero no se incluyeron en los modelos econométricos, ya que estos modelos necesitan información continua año por año.

Al observar los datos generales, se pueden identificar tres características clave del sistema social y ambiental en Colombia:

- I. Desigualdad estable en el tiempo: El índice de Gini se ha mantenido alto y sin muchos cambios entre un año y otro, lo que muestra que la desigualdad en la distribución del ingreso ha sido persistente.
- II. Crecimiento económico con altibajos: Aunque la economía del país ha crecido con el tiempo, ese crecimiento no ha sido parejo. Ha tenido épocas buenas y otras no tanto.
- III. En cuanto al medio ambiente, no todas las variables se han comportado igual. Las emisiones de CO₂, la huella ecológica y la cobertura de bosques han cambiado de manera diferente entre sí. Cada una ha seguido su propio ritmo y no siempre han respondido igual a lo que pasa en la economía.

Estos datos generales ayudan a tener una primera idea de cómo ha sido la evolución del sistema social, económico y ambiental en Colombia. Sirven como base para los análisis más detallados que se presentan en las siguientes secciones del estudio. Desde ya, muestran que el sistema colombiano tiende a ser inestable, con procesos que no están alineados entre sí y que no parecen corregirse por sí solos. Esto va en línea con la idea central del estudio: que hay un desequilibrio estructural entre lo social, lo económico y lo ambiental.

A partir de esa figura se pueden sacar tres ideas clave:

Primero, los índices de Gini y Palma, que muestran qué tan desigual es la distribución del ingreso en Colombia, han subido y bajado con el tiempo, pero sin una mejora que se mantenga. En algunos años, como en el boom económico de los 2000, hubo pequeños avances, pero no duraron mucho. Después de un tiempo, la desigualdad volvió a los mismos niveles de siempre, lo que indica que esos cambios fueron pasajeros. Con el tiempo, esos avances se perdieron y la desigualdad volvió a subir, lo que sugiere que los cambios no han sido duraderos ni han transformado la estructura desigual del país. Después de choques como la crisis económica de finales de los años noventa, la desaceleración después de 2015 o la crisis por la pandemia, ambos indicadores vuelven a sus niveles altos, lo que sugiere que no hay mecanismos duraderos que reduzcan la desigualdad.

Segundo, la concentración de la tierra sigue una dinámica distinta. A diferencia de los indicadores de desigualdad en ingresos, la desigualdad en el uso de la tierra muestra una acumulación constante y permanece alta. Esto sugiere que hay procesos estructurales, como la expansión de actividades extractivas, la ganadería extensiva y la falta de regulación efectiva del uso del suelo, que mantienen la desigualdad territorial, sin importarles demasiado el ritmo de la economía.

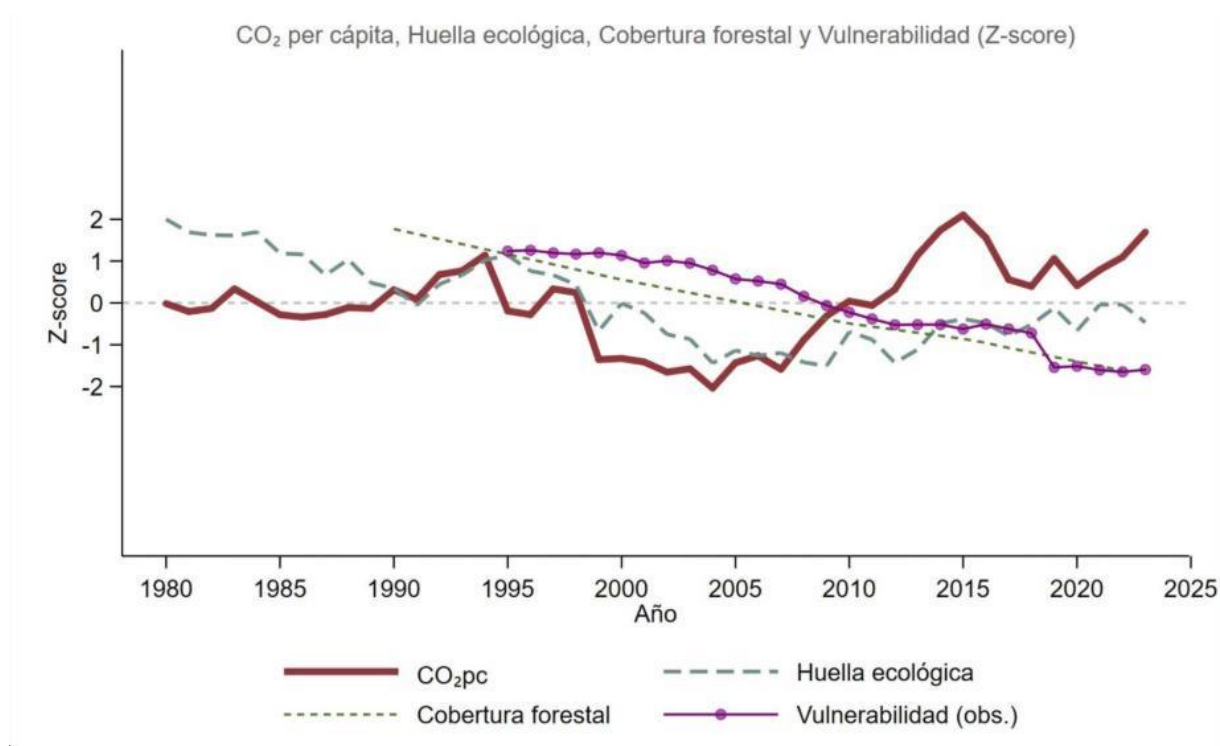
Tercero, cuando se comparan estas trayectorias juntas, se ve que no están sincronizadas. Mientras que los indicadores relacionados con el ingreso, como el Gini y el Palma, se mantienen altos pero con algunos altibajos, la concentración de la tierra no sigue ese mismo patrón. En vez de eso, ha ido aumentando de forma más constante con el tiempo. Esto muestra que hay una desconexión entre la desigualdad económica y la desigualdad en el uso del territorio: aunque parezcan relacionadas, en realidad se comportan de manera distinta y no siempre se mueven juntas.

4.1.2 Presión ambiental y degradación territorial (CO₂ per cápita, huella ecológica y cobertura forestal)

La parte ambiental del sistema socioecológico colombiano muestra comportamientos constantes pero variados entre 1980 y 2023. A diferencia de la desigualdad en los ingresos, que se mantiene alta de forma estable, los indicadores ambientales siguen trayectorias distintas entre sí y no siempre al mismo ritmo. Esto nos da a entender que la presión sobre el medio ambiente no está solo vinculada al crecimiento económico general, sino que responde a factores específicos de cada sector y de cada territorio.

Figura 2

Evolución de variables ambientales (1980–2023)



Nota. Elaboración propia a partir de datos oficiales para Colombia (1980–2023). Las series se presentan en valores estandarizados (Z-score). Gráfico elaborado en Stata 15.

La Figura 2 muestra cómo han cambiado, entre 1980 y 2023, tres medidas importantes sobre el medio ambiente en Colombia: las emisiones de CO₂ por persona, la huella ecológica

por persona y la cobertura de bosques. Estos indicadores ayudan a ver qué tan fuerte ha sido la presión sobre el entorno natural y cómo ha evolucionado con el tiempo. Todos estos datos se ajustaron para que sea más fácil compararlos entre sí, sin tener que asumir que miden exactamente lo mismo.

Al mirar el gráfico, se pueden ver tres patrones principales:

Primero, las emisiones de CO₂ por persona han tenido altibajos a lo largo de los años, pero no muestran una caída sostenida. Esto indica que la manera en que el país produce y consume energía todavía depende en gran medida de los combustibles fósiles. Aunque en algunos años las emisiones bajan por factores económicos, esos cambios son temporales y no alcanzan a cambiar la tendencia general. Aunque en momentos de crisis económica las emisiones pueden bajar temporalmente, esos cambios no logran transformar la tendencia general de fondo.

Segundo, la huella ecológica por persona parece responder más a las fases de expansión o contracción de la economía. En términos simples, tiende a subir cuando hay crecimiento económico y a moderarse cuando la economía se desacelera, lo que indica que la presión sobre los recursos está bastante ligada al uso de materiales, al consumo y a la intensidad con que se extraen y utilizan recursos en el modelo de acumulación.

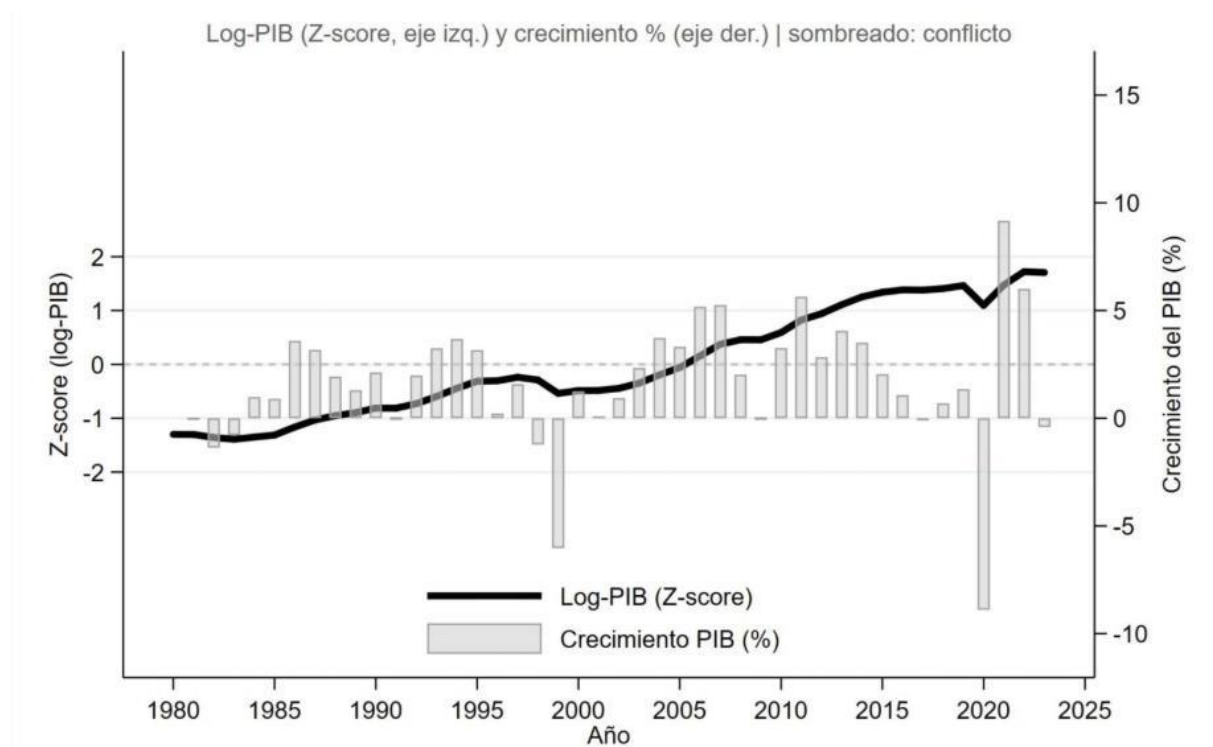
4.1.3 Crecimiento del PIB y dinámica de conflicto (1980–2023)

La figura 3 nos muestra cómo ha ido cambiando el PIB efectivo de Colombia entre 1980 y 2023. Para apreciar mejor cómo han evolucionado las cosas a lo largo de tantos años, los datos han sido preparados para ajustarse a una forma en que nos permitiera observar mejor la evolución a través del tiempo. También se relacionan las tasas de crecimiento anual para poder ir observando en qué años la economía tiene crecimiento o decrecimiento, y en el gráfico se ha puesto un sombreado que indica los momentos donde se acentuó el conflicto armando por lo

que es importante apreciar que la economía no ha ido creciendo en un momento donde se tuviese la sensación de tranquilidad, sino en el marco de la violencia y la inestabilidad en algunas regiones de Colombia.

Figura 3.

Variables de control: PIB y crecimiento (1980–2023)



Nota. Elaboración propia a partir de datos oficiales para Colombia (1980–2023). El PIB se presenta en logaritmos y valores estandarizados (Z-score, eje izquierdo), mientras que el crecimiento corresponde a la variación porcentual anual del PIB (eje derecho). Gráfico elaborado en Stata 15.

A través del tiempo la economía de Colombia ha ido creciendo también pero no ha sido el camino más parejo ni tranquilo. La economía ha tenido muchos altibajos, es decir, en algunos años las cosas mejoraban, pero en otros años se estancaban o incluso existía un retroceso. Es como si el país estuviese en un proceso donde de pronto se avanza y de pronto también se retrocede, no consiguiendo una dirección clara ni tampoco constante.

Si nos acercamos un poco más a este recorrido, podemos distinguirlo en tres instantes:

1980-1999: Ya en la primera etapa de este ciclo, el crecimiento fue visiblemente flojo y con muchas interrupciones. El país pasó por muchos altibajos, siendo el más duro a finales de los noventa, cuando la economía se desplomó y muchas personas lo notaron en su vida cotidiana. En esa etapa también se vivieron cambios importantes en las estructuras económicas y una violencia del conflicto armado en aumento, que generaron una sensación de fragilidad generalizada en lo que respecta a lo económico y lo social.

2003–2014: Aquí se observa un periodo de expansión más fuerte, ligado al auge de actividades extractivas y al buen momento de los precios de las materias primas. Aunque el PIB sube de manera sostenida, la tasa de crecimiento sigue mostrando altibajos importantes, lo que sugiere que el crecimiento dependía mucho de factores externos y de sectores que usan muchos recursos naturales.

Desde 2015 en adelante: El crecimiento entra en una fase más vulnerable. La caída de los precios del petróleo y el impacto de la pandemia en 2020 marcaron este periodo. La fuerte caída del PIB en 2020 y su recuperación rápida pero temporal muestran que la economía aún es frágil y no logra cambiar sus problemas de fondo.

El sombreado del conflicto armado en la figura muestra que, incluso cuando la economía crece, los niveles de violencia persisten, sobre todo en zonas rurales y alejadas. El conflicto no desaparece durante los periodos de crecimiento, lo que indica que el aumento del PIB no ha ido de la mano con una reducción real de las brechas sociales o con una mejora en la seguridad territorial.

En conjunto, lo que muestra la Figura 3 es que, aunque la economía colombiana ha crecido en términos generales, ese crecimiento no ha sido estable ni igual en todo el país, y no ha ido acompañado de mejoras sociales profundas. La economía puede crecer en números, pero lo hace en medio de un conflicto que sigue presente y sin cambiar las estructuras que mantienen

la desigualdad y la vulnerabilidad en el país. Esto refuerza la idea principal del estudio: el crecimiento económico en Colombia, tal como se ha dado, ha sido más una suma de números que una transformación real. No ha servido para corregir las desigualdades ni para reducir las vulnerabilidades sociales y ambientales. De hecho, en algunos casos, parece haberlas profundizado.

4.1.4 Interpretación socioecológica integrada del análisis descriptivo (1980–2023)

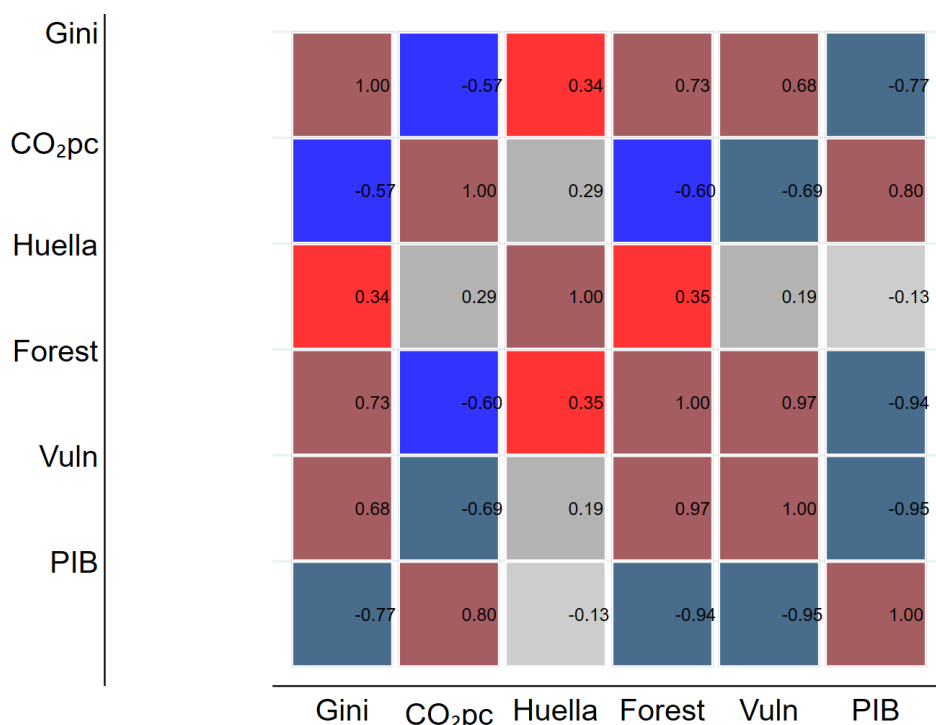
Al analizar cómo han cambiado juntos la desigualdad, el crecimiento económico y el impacto ambiental en Colombia entre 1980 y 2023, se pueden ver ciertos patrones que se repiten. Desde una mirada que une lo social con lo ambiental, los datos muestran que no ha habido un desarrollo equilibrado ni mecanismos automáticos que corrijan los problemas. Más bien, se trata de procesos que avanzan por separado, con una economía que depende mucho de los recursos naturales y que concentra los beneficios en pocos sectores.

La desigualdad en Colombia sigue siendo muy alta y no ha cambiado mucho con el tiempo. Aunque durante la bonanza minera y energética, entre 2005 y 2015, se vio una leve mejora, esta no duró. Cuando terminó ese periodo de altos precios internacionales, la desigualdad volvió a los niveles anteriores. Esto muestra que los momentos de crecimiento económico no han logrado cambiar la estructura profunda de la desigualdad.

En el tema ambiental, la situación también preocupa. Aunque no todos los indicadores se comportan igual, todos apuntan a un daño acumulado. Las emisiones de CO₂ por persona y la huella ecológica aumentan, aunque no al mismo ritmo, y la pérdida de bosques ha sido constante, lo que indica un deterioro grave y sostenido del territorio. Además, la vulnerabilidad frente al cambio climático no depende tanto del crecimiento económico, sino más bien de qué tan preparadas están las instituciones y de las diferencias entre regiones.

Figura 4

Mapa de calor de correlaciones (1980–2023)



Nota. Correlaciones bivariadas de Pearson entre las variables socioecológicas analizadas (1980–2023). Elaboración propia con base en cálculos realizados en Stata 15.

La Figura 4 usa un mapa de calor para mostrar cómo se conectan la desigualdad, el crecimiento económico y el medio ambiente. Es como una fotografía del momento que permite ver qué cosas tienden a suceder juntas, aunque no nos dice cuál es la causa y cuál es el efecto.

De ahí se destacan tres ideas clave:

Primero, se nota que cuando hay más desigualdad en el país, también aumentan los riesgos frente al cambio climático y se pierde más cobertura de bosques. Es decir, las personas más vulnerables no solo enfrentan menos oportunidades, sino también más consecuencias por el deterioro del entorno.

Cuando la economía crece (es decir, sube el PIB), también suben las emisiones de CO₂. Pero ese crecimiento económico suele ir acompañado de una menor cantidad de bosques.

Aunque el crecimiento económico a veces se relaciona con una menor desigualdad, esto no significa que realmente esté ayudando a cerrar las brechas sociales de manera duradera.

En resumen, lo que se ve es que la economía en Colombia ha crecido de forma desigual: los beneficios se quedan en pocas manos, mientras que los daños al medio ambiente se reparten en los territorios. Esto muestra que la desigualdad social y el daño ambiental están conectados, y forman parte de un mismo problema de fondo.

Este diagnóstico es el punto de partida para el siguiente análisis, que buscará entender si estas relaciones se mantienen con el tiempo o si, por el contrario, son parte de un sistema desequilibrado que no logra corregirse.

4.2 Propiedades de las series temporales y decisión de modelación

Para entender mejor cómo se comportan las variables del estudio a lo largo del tiempo y elegir una forma adecuada de analizarlas, se aplicaron dos pruebas estadísticas comunes (ADF y PP). Estas pruebas se usaron sobre las principales variables: la desigualdad medida con el índice de Gini, las emisiones de CO₂ por persona, la huella ecológica, el PIB real y la cobertura forestal. Además, se revisó el índice de vulnerabilidad climática de la universidad de Notre Dame como referencia general del contexto ambiental del país.

El objetivo de estas pruebas no fue demostrar si existe un equilibrio de largo plazo entre las variables, sino algo más básico: saber qué tan persistentes son en el tiempo. Dicho de forma simple, lo que se quiso entender fue qué variables siguen repitiendo patrones del pasado y cuáles cambian más rápido con el tiempo. Esto es clave porque no todas se pueden analizar igual: algunas permiten ver relaciones directas entre sí, mientras que otras muestran procesos más complejos, que se van acumulando poco a poco y son más difíciles de revertir.

Las pruebas se hicieron con datos anuales entre 1980 y 2023. Para decidir cuántos rezagos usar, es decir, cuánta información del pasado incluir, se usaron dos criterios estadísticos.

Cuando ambos coincidieron, se tomó esa sugerencia. Cuando no, se eligió el criterio más conservador, que ayuda a evitar modelos demasiado complejos para una muestra relativamente pequeña.

Algunas variables, como la concentración de la tierra, el índice de Palma y el conflicto armado, no se sometieron a estas pruebas. Esto se debe a que no siguen un comportamiento continuo en el tiempo como las variables económicas o ambientales. Por esa razón, analizarlas con este tipo de pruebas no sería adecuado, y su estudio se mantiene en la parte descriptiva del trabajo.

Desde una mirada socioecológica, este ejercicio permite entender que el sistema colombiano no funciona como un conjunto de variables que necesariamente tienden al equilibrio. Más bien, se trata de procesos con distintas “memorias”: algunas variables muestran cambios persistentes que dejan huella a largo plazo, mientras que otras reflejan dinámicas acumulativas difíciles de revertir, especialmente en lo ambiental y territorial.

En las siguientes secciones se presentan los resultados de estas pruebas y se explica cómo influyen en la elección de los modelos econométricos utilizados. En particular, se destaca el comportamiento de la cobertura forestal, que muestra con claridad que la degradación del territorio es un proceso de largo plazo, y esto resulta clave para la estrategia de análisis adoptada.

4.2.1 Resultados de la prueba Dickey–Fuller Aumentada (ADF)

Para analizar cómo se comportan las variables a lo largo del tiempo, se aplicó la prueba Dickey–Fuller Aumentada (ADF) a los principales indicadores del sistema socioecológico colombiano: el índice de Gini, las emisiones de CO₂ por persona, la huella ecológica, la cobertura forestal, el índice de vulnerabilidad climática y el PIB real. Esta prueba ayuda a ver si una variable tiene una tendencia estable o si cambia de forma más impredecible con el tiempo.

El análisis se hizo con datos anuales desde 1980 hasta 2023, incluyendo una constante y una tendencia en los cálculos. Para definir cuánta información del pasado se debía incluir en cada prueba, es decir, el número de rezagos, se usaron dos herramientas estadísticas: los criterios de Akaike (AIC) y Schwarz (BIC). Cuando ambos daban el mismo resultado, se usó ese. Si no coincidían, se eligió el criterio de Schwarz, ya que es más exigente y ayuda a evitar modelos innecesariamente complicados.

Los resultados completos de estas pruebas están en la Tabla 5, e incluyen tanto los datos en su forma original como en sus primeras diferencias.

Tabla 5.

Prueba Dickey–Fuller Aumentada (ADF), 1980–2023

Variable	Rezagos	ADF Nivel (p)	ADF 1ª Dif. (p)	Orden
gini	1	0.167	0.0476	I (1)
co2pc	1	0.5596	0.0000	I (1)
huella	1	0.3288	0.0000	I (1)
vuln	1	0.9623	0.0121	I (1)
gdp_total	1	0.9892	0.0000	I (1)
forest	1	0.8773	0.3086	I (2)

Nota. Resultados de la prueba Dickey–Fuller aumentada (ADF) para series anuales de Colombia (1980–2023). Elaboración propia a partir de salidas de Stata 15.

Cuando se aplicó la prueba ADF a las variables en su forma original, es decir, sin modificar, todas mostraron valores que indican que no se puede rechazar la idea de que tienen raíz unitaria. En otras palabras, no son variables estables a lo largo del tiempo, sino que tienden a mantener patrones persistentes. Esto sugiere que están marcadas por dinámicas de fondo que no cambian fácilmente, más que por simples altibajos temporales.

Sin embargo, al repetir la prueba usando las variables en sus primeras diferencias (es decir, observando cómo cambian de un año a otro), la mayoría se volvieron estacionarias. Esto incluye la desigualdad, medida con el Gini, el PIB real, las emisiones de CO₂ por persona, la huella ecológica y la vulnerabilidad climática. Estas variables, entonces, se clasifican como

integradas de orden uno [I(1)], lo que significa que aunque son persistentes, pueden analizarse con modelos dinámicos como el ARDL, que permiten estudiar sus relaciones en el corto y largo plazo.

El caso de la cobertura forestal es diferente. Incluso después de aplicarle la primera diferencia, no alcanzó estacionariedad. Eso la clasifica como una variable integrada de orden dos [I(2)], lo que significa que su comportamiento sigue una lógica aún más profunda y acumulativa. Este resultado es muy importante, porque muestra que la pérdida de bosques en Colombia no se debe solo a los altibajos de la economía. En el fondo, esto tiene que ver con problemas mucho más antiguos y difíciles de resolver, como el avance de la agricultura sobre áreas naturales, la acumulación de tierras en pocas manos, la violencia asociada al conflicto armado o la poca capacidad del Estado para controlar cómo se usa el territorio.

Desde el punto de vista del análisis, esto también tiene consecuencias. Las variables que muestran un comportamiento más estable tras analizar sus cambios anuales (lo que se llama I(1)) sí pueden usarse en modelos como el ARDL. Estos modelos ayudan a estudiar si hay alguna relación entre temas como la desigualdad, el crecimiento económico y el impacto ambiental. Pero la cobertura forestal, al ser I(2), no puede incluirse en ese tipo de modelos sin generar errores. Y esto no es solo una cuestión técnica: en el fondo, lo que muestra es que el deterioro ambiental en el territorio tiene una dinámica tan profunda que no cabe dentro de los marcos económicos tradicionales que suponen cierto equilibrio.

En resumen, los resultados de la prueba ADF muestran que el sistema socioecológico colombiano funciona más como un conjunto de procesos que acumulan efectos en el tiempo, que como un sistema que tiende a estabilizarse. Esto es clave para entender los análisis que vienen, que parten de la idea de un desequilibrio estructural en lugar de asumir que el sistema va camino hacia un equilibrio estable.

4.2.2 Resultados de la prueba Phillips–Perron (PP)

Para asegurarse de que los resultados obtenidos con la prueba ADF fueran sólidos y no se vieran afectados por problemas técnicos como la autocorrelación o la variación irregular de los datos (lo que en estadística se llama heterocedasticidad), se aplicó también la prueba Phillips–Perron (PP) a las principales variables del estudio. Esta prueba sirve como una forma de comprobar si las conclusiones anteriores se mantienen, pero sin asumir una estructura específica en los errores del modelo.

Se aplicó la prueba PP tanto a las series originales como a sus primeras diferencias, usando una configuración con constante. Los resultados completos se pueden ver en la Tabla 6.

Tabla 6

Prueba Phillips–Perron (PP), 1980–2023

Variable	PP Nivel	(p)	PP 1ª Dif.	(p)	Orden
gini	0.2660		0.0005		I (1)
co2pc	0.5945		0.0000		I (1)
huella	0.2373		0.0000		I (1)
vuln	0.9742		0.0000		I (1)
gdp_total	0.9924		0.0000		I (1)
Forest	0.1822		0.3577		I (2)

Nota. Prueba Phillips–Perron (PP) para series anuales de Colombia (1980–2023). Se reportan p-valores y orden de integración al 5 %. Elaboración propia en Stata 15.

Cuando se aplicó la prueba Phillips–Perron, los resultados fueron muy similares a los obtenidos con la prueba ADF. En su forma original, ninguna de las variables mostró un comportamiento estable a lo largo del tiempo, lo que confirma que presentan lo que se conoce como raíz unitaria. Sin embargo, al observar cómo cambian año con año, lo que se llama “primera diferencia”, variables como la desigualdad, el PIB, las emisiones de CO₂, la huella ecológica y la vulnerabilidad climática mostraron una mayor estabilidad. En cambio, la cobertura forestal siguió siendo inestable, incluso después de este ajuste, lo que confirma que

tiene un comportamiento más complejo y acumulativo. Técnicamente, esto la clasifica como una variable de orden dos [I(2)].

El hecho de que ambas pruebas, ADF y Phillips–Perron, lleguen a las mismas conclusiones refuerza la solidez de los resultados. La mayoría de las variables analizadas, como el Gini, las emisiones de CO₂, la huella ecológica, el PIB y la vulnerabilidad climática, se comportan como variables de orden uno [I(1)], lo que significa que, aunque arrastran efectos del pasado, pueden ser tratadas con modelos que exploran relaciones en el tiempo. La cobertura forestal, en cambio, tiene un patrón diferente, con una dinámica de deterioro mucho más profunda y persistente.

4.2.3 Implicaciones de los resultados de estacionariedad

Los resultados de las pruebas ADF y PP muestran que las principales variables del sistema socioecológico colombiano, como la desigualdad, el crecimiento económico, la presión ambiental y la vulnerabilidad climática, siguen patrones persistentes a lo largo del tiempo. En términos técnicos, se dice que son variables de orden uno [I(1)], lo que significa que los cambios que sufren no se borran rápido, sino que se van acumulando.

Ahora bien, que estas variables sean I(1) no quiere decir automáticamente que estén conectadas entre sí a largo plazo. Para saber si existe ese tipo de relación, no se puede asumir: hay que comprobarlo con pruebas específicas, llamadas pruebas de cointegración.

Por otro lado, la cobertura forestal se comporta distinto: es una variable de orden dos [I(2)], lo que significa que su deterioro tiene una dinámica mucho más profunda y difícil de revertir. Este hallazgo refuerza la idea de que la pérdida de bosques en Colombia no responde a ciclos normales de la economía, sino a problemas estructurales de larga data, como el uso inadecuado del suelo, el abandono institucional y las tensiones históricas por el territorio.

Desde una mirada socioecológica, la combinación de variables que se comportan como I(1) con una tan crítica como la cobertura forestal (I(2)) sugiere que el sistema colombiano acumula desequilibrios sin mecanismos que los corrijan de forma automática. Por eso, no se puede dar por hecho que el país está avanzando hacia un desarrollo sostenible: hay señales claras de que eso no está ocurriendo.

Metodológicamente, el hecho de tener variables I(1) permite usar el modelo ARDL de Pesaran et al. (2001), una herramienta útil para explorar si estas variables están relacionadas y cómo evolucionan en el corto plazo. A partir de esto, el análisis se enfocará en dos modelos:

- Modelo 1: Emisiones de CO₂ por persona en función de la desigualdad (Gini) y el PIB.
- Modelo 2: Huella ecológica en función de la desigualdad (Gini) y el PIB.

La cobertura forestal no podrá incluirse en estos modelos por su comportamiento distinto, pero será analizada aparte como una muestra clara del deterioro ambiental ligado al territorio. Por su parte, el índice de vulnerabilidad climática se tomará como una referencia contextual, ya que solo está disponible desde 1995 hasta 2023.

En resumen, estas pruebas estadísticas no nos dicen si el sistema colombiano está en equilibrio o no. Lo que hacen es darnos las bases para que los modelos dinámicos siguientes puedan evaluar, con mayor rigor, si existen o no relaciones de largo plazo entre la desigualdad, el crecimiento económico y la presión ambiental. Esa será justamente la tarea del análisis que viene, usando modelos ARDL y pruebas de cointegración.

4.3 Modelación ARDL: diagnóstico de la dinámica y evaluación de relaciones en niveles

Los patrones identificados en secciones anteriores, como la desigualdad persistente, el crecimiento económico basado en el uso intensivo de recursos naturales y el deterioro ambiental acumulado, plantean una pregunta clave: ¿existen relaciones estables entre estas variables o solo se mueven juntas en el corto plazo sin ningún tipo de ajuste que las conecte de forma duradera?

Para responder esta pregunta, se usaron modelos econométricos llamados ARDL (Modelos Autorregresivos de Rezagos Distribuidos). Estos modelos permiten, por un lado, analizar cómo cambian las variables en el corto plazo y, por otro, evaluar si entre ellas existen relaciones más estables a lo largo del tiempo. Es importante decir que aquí no se parte del supuesto de que el sistema colombiano esté en equilibrio. Más bien, el ARDL se usa como una herramienta para ver si ese tipo de relación de largo plazo existe o no.

Con base en los resultados de las pruebas anteriores, se construyeron dos modelos:

- **Modelo 1:**

$$CO_2pc_t = \beta_0 + \beta_1GINI_t + \beta_2PIB_t + \varepsilon_t$$

- **Modelo 2:**

$$HUELLA_t = \beta_0 + \beta_1GINI_t + \beta_2PIB_t + \varepsilon$$

Para las estimaciones, se utilizó una medida del PIB expresada en valores constantes del año 2015, usando la variable `gdp_total`.

Estos modelos permiten observar si los cambios en la desigualdad y la actividad económica se reflejan de manera inmediata o con cierto retraso en el nivel de presión ambiental. También ayudan a determinar si estas relaciones son estables en el tiempo o si solo ocurren como reacciones momentáneas.

En las siguientes secciones se presentan los resultados de estos modelos ARDL, separados en tres partes:

- (i) cómo se comportan las variables en el corto plazo,
- (ii) si existe o no una relación estable entre ellas,

(iii) y una interpretación más amplia desde la perspectiva socioecológica, considerando la hipótesis de que el sistema colombiano opera en un estado de desequilibrio estructural.

4.3.1 Selección de rezagos y especificaciones finales

Para decidir cuánta información del pasado debía incluirse en los modelos ARDL, se probaron varias combinaciones posibles, usando hasta dos rezagos por variable. En este proceso se apoyó el análisis en dos criterios estadísticos comunes: el de Akaike (AIC) y el bayesiano (BIC).

Cuando ambos criterios señalaban la misma opción, esa se tomó directamente. Cuando los dos métodos daban resultados distintos, se le dio más peso al AIC porque ayuda a entender mejor lo que pasa en el corto plazo. El BIC también se tuvo en cuenta, pero más bien como una guía para que los modelos no quedaran demasiado complicados.

La idea de todo este proceso fue simple: encontrar las combinaciones que realmente se ajustaran a los datos, sin dar por hecho que hay relaciones firmes a largo plazo.

Con base en eso, se eligieron las siguientes configuraciones finales:

Modelo 1 (CO₂ per cápita): ARDL(1,0,1)

Modelo 2 (Huella ecológica): ARDL(1,2,2)

4.3.2 Modelo ARDL para emisiones de CO₂ per cápita

Tabla 7

presenta los resultados del modelo ARDL(1,0,1) estimado para las emisiones de CO₂ per cápita en el período 1982–2023.

co2pc	Coef.	Std.	Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
co2pc						
L1.	0.804631	0.096308	8.35	0.000	0.609493	0.999769
gini	-0.011113	0.007666	-1.45	0.156	-0.026645	0.004420
gdp_total	1.89e-15	8.85e-16	2.13	0.040	9.50e-17	3.68e-15
L1.	-1.74e-15	9.20e-16	-1.89	0.067	-3.60e-15	1.29e-16
_cons	0.851564	0.503774	1.69	0.099	-0.169178	1.872307

Number of obs = 42 R-squared = 0.7969 Prob > F = 0.0000

Nota. Resultados del modelo ARDL (1,0,1) para Colombia (1982–2023). Se reportan coeficientes, errores estándar, p-valores e intervalos de confianza al 95 %. Elaboración propia en Stata 15.

El modelo muestra que las emisiones de CO₂ en Colombia tienen mucha “memoria”. Lo que pasa un año se parece mucho a lo que pasó el año anterior: de hecho, casi el 80 % del nivel actual de emisiones se puede explicar por lo que ocurrió el año pasado. Esto nos dice que el sistema energético del país tiene una gran inercia, es decir, que sigue funcionando de la misma manera, con un alto uso de combustibles contaminantes, y que no cambia fácilmente de rumbo.

También se encontró que, cuando la economía crece, las emisiones por persona tienden a subir. Este resultado tiene respaldo estadístico, lo que significa que es un patrón consistente y no algo que ocurrió por casualidad.

Por otro lado, la desigualdad, medida por el índice de Gini, no parece tener un impacto directo en las emisiones. Al menos en este modelo, no se encontró una relación clara entre cómo se reparte el ingreso en el país y cuánto se contamina. Esto no quiere decir que no haya ninguna conexión, pero sí que, en el corto plazo, no se ve un efecto fuerte o evidente.

Los criterios de información correspondientes se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Criterios de información – Modelo CO₂ per cápita

Model	Obs	ll(model)	df	AIC	BIC
-------	-----	-----------	----	-----	-----

ARDL	42	43.913	3	-81.826	-76.613
------	----	--------	---	---------	---------

Nota. Criterios de información calculados a partir de estimaciones en Stata 15.

Esta especificación minimiza el AIC y presenta un ajuste estable, describiendo adecuadamente la dinámica de corto plazo, sin implicar por sí misma la existencia de una relación de largo plazo entre las variables.

4.3.3 Modelo ARDL para huella ecológica

La Tabla 9 presenta los resultados del modelo ARDL(1,2,2), estimado bajo la parametrización tipo ECM, para la huella ecológica.

Tabla 9

Resultados ARDL(1,2,2) – Huella ecológica (ECM)

D.huella	Coef.	Std.	Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
ADJ						
L.huella	-0.151370	0.078293	-1.93	0.062	-0.310479	0.007740
LR						
Gini	-0.066229	0.038476	-1.72	0.094	-0.144422	0.011964
gdp_total	-7.38e-16	5.28e-16	-1.40	0.171	-1.81e-15	3.35e-16
SR						
D.gini	0.006702	0.008838	0.76	0.454		
LD.gini	0.019651	0.010132	1.94	0.061		
D.gdp_total	1.35e-15	4.98e-16	2.72	0.010	3.40e-16	2.36e-15
LD.gdp_tot	-9.32e-16	5.04e-16	-1.85	0.073		
_cons	0.889896	0.360161	2.47	0.019		

Number of obs = 42 R-squared = 0.4495

Nota. Modelo estimado bajo la parametrización ECM. Se reportan coeficientes, errores estándar y p-valores. Elaboración propia (Stata 15).

El modelo también incluye un término que sirve para ver si las variables tienden a ajustarse entre sí a lo largo del tiempo, como si buscaran un equilibrio. En este caso, ese valor (ECT = -0.151) tiene el signo esperado, pero no es lo suficientemente fuerte como para considerarse estadísticamente confiable ($p \approx 0.062$). En otras palabras, no hay evidencia clara

de que exista una relación estable de largo plazo entre las variables. Por eso, este resultado no debe interpretarse como prueba de que el sistema se esté ajustando de manera estructural.

En el corto plazo, sí se encontró que el PIB tiene un impacto claro: cuando la economía crece, la huella ecológica también aumenta, y este efecto es estadísticamente significativo ($p = 0.010$). Esto quiere decir que el crecimiento económico viene acompañado de un mayor impacto ambiental inmediato.

En cuanto al índice de Gini, sus efectos son débiles. Solo aparece como marginalmente significativo en algunos momentos pasados (rezagos), lo que sugiere que la desigualdad puede tener cierta influencia indirecta, pero no lo suficiente como para formar una relación estable o consistente con la huella ecológica.

Los criterios de información correspondientes se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10

Criterios de información – Modelo Huella ecológica

Model	Obs	ll(model)	df	AIC	BIC
ARDL	42	71.805	5	-133.610	-124.922

Nota. Se reportan los criterios de información AIC y BIC para el modelo ARDL estimado. Elaboración propia a partir de estimaciones en Stata 15.

Síntesis de la sección

Los modelos muestran que, cuando la economía crece, también aumenta el impacto ambiental, al menos en el corto plazo. Además, las variables relacionadas con el medio ambiente tienden a mantenerse en el tiempo, es decir, no cambian fácilmente.

Pero estos efectos no se traducen en una relación estable o duradera entre economía, desigualdad y medio ambiente. Por eso, no se puede decir que el sistema esté en equilibrio.

Esto no significa que el modelo esté mal. Más bien, sus resultados son útiles porque muestran que las relaciones entre estas variables existen, pero son frágiles y no están bien

conectadas a largo plazo. En otras palabras, el modelo ayuda a confirmar que el sistema socioecológico en Colombia sigue funcionando en un estado de desequilibrio que no se corrige por sí solo.

4.4 Cointegración prueba de límites (Bounds Test)

Para entender si la desigualdad, el crecimiento económico y el daño al medio ambiente están realmente conectados entre sí, se usó una prueba que ayuda a ver si estas tres cosas se mueven juntas de forma constante en el tiempo, o si solo coinciden de vez en cuando sin tener una relación real.

Se usó una versión de la prueba que incluye un intercepto pero no una tendencia (lo que se conoce como Case 3), y se consideraron dos variables explicativas: el índice de Gini y el PIB. El análisis se hizo con un nivel de confianza del 95 % (es decir, un 5 % de margen de error).

Los valores de referencia y los p-valores usados en la prueba se tomaron de una actualización propuesta por Kripfganz y Schneider (2020), especialmente pensada para trabajar con muestras pequeñas como la que se usó aquí (42 datos).

La hipótesis contrastada es:

H_0 : no existe relación en niveles (no cointegración).

H_1 : existe relación de equilibrio de largo plazo.

4.4.1 Modelo 1: CO_2 per cápita = f(Gini, PIB)

Los resultados del Bounds Test para el modelo de emisiones de CO_2 per cápita se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11

Bounds Test – Modelo CO₂ per cápita

bounds test			
H0: no level relationship		F = 2.318	
Case 3		t = -2.029	
Finite sample (k = 2, n = 42)			
Kripfganz and Schneider (2020) critical values			

	10%	5%	1%

I(0) F	3.323	4.073	5.828
I(1) F	4.351	5.226	7.239

p-values	I(0): 0.247	I(1): 0.440	

Decision: no rejection at 5%

Nota. Resultados del Bounds Test (Pesaran et al., 2001) para el modelo ARDL de CO₂ per cápita. Elaboración propia en Stata 15.

El estadístico F obtenido (2.318) se ubica por debajo del límite inferior crítico al 5 %, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de ausencia de relación en niveles entre las variables del modelo. En pocas palabras, no se encontró una relación estable entre estas tres cosas a lo largo del tiempo.

4.4.2 Modelo 2: Huella ecológica = f(Gini, PIB)

La Tabla 12 presenta los resultados del Bounds Test para el modelo de huella ecológica.

Tabla 12

Bounds Test – Modelo Huella ecológica

bounds test			
H0: no level relationship		F = 3.429	
Case 3		t = -1.933	
Finite sample (k = 2, n = 42)			
Kripfganz and Schneider (2020) critical values			

	10%	5%	1%

I(0) F	3.284	4.039	5.823
I(1) F	4.377	5.278	7.379

p-values	I(0): 0.088	I(1): 0.204	

Decision: no rejection at 5%			

Nota. Resultados del Bounds Test (Pesaran et al., 2001) para el modelo ARDL de huella ecológica. Elaboración propia en Stata 15.

El resultado de la prueba tampoco fue lo bastante alto como para confirmar que estas variables estén conectadas de forma estable. Aunque se acercó un poco al límite, no alcanza para decir con confianza que exista una relación duradera entre la huella ecológica, la desigualdad y el crecimiento económico. En otras palabras, no hay suficiente evidencia para afirmar que estas tres cosas caminen juntas a largo plazo.

Los dos modelos analizados llegaron a la misma conclusión: no se encontró una conexión fuerte y constante entre desigualdad, crecimiento y daño ambiental. Esto sugiere que, al menos por ahora, el sistema colombiano no se está moviendo hacia un equilibrio donde lo económico, lo social y lo ambiental se alineen. Más bien, todo parece avanzar por caminos separados, sin una dirección clara que mantenga todo en orden.

Es importante dejar claro que, aunque algunos resultados del modelo parecen apuntar a un ajuste, porque ciertos valores salen negativos, como se esperaría en un sistema que tiende al equilibrio, eso no significa que exista una relación firme entre las variables. Si no se confirma la conexión de largo plazo entre ellas, esos resultados solo indican pequeños ajustes temporales, no un cambio estructural real.

Desde una mirada socioecológica, esto no es un fallo del análisis, sino un resultado clave. Lo que muestra es lo siguiente:

- El crecimiento económico sí está generando presión sobre el medio ambiente en el corto plazo.
- La desigualdad sigue siendo muy persistente.
- Pero no hay señales de que estas dos dinámicas estén conectadas de forma estable o que estén avanzando juntas hacia un equilibrio.

En resumen, el sistema colombiano parece funcionar en un estado de desequilibrio constante. Las distintas partes del sistema, lo económico, lo social y lo ambiental, no están bien coordinadas, arrastran problemas del pasado y no cuentan con mecanismos propios que ayuden a corregir los desequilibrios de forma natural.

4.5 Funciones empíricas y términos de corrección del error

Con base en los modelos ARDL que se presentaron antes, se pueden escribir ecuaciones que muestran cómo se relacionan, en la práctica, la desigualdad, el crecimiento económico y la presión sobre el medio ambiente.

Pero es importante aclarar algo: como la prueba Bounds Test no mostró una conexión fuerte entre estas variables a largo plazo, estas ecuaciones no deben leerse como si describieran un equilibrio estable. Más bien, lo que hacen es mostrar cómo se mueven las variables en el corto plazo y cómo, a veces, chocan o se ajustan de forma parcial y temporal.

4.5.1 Modelo 1: Emisiones de CO₂ per cápita

La ecuación estimada en niveles es:

$$CO2pc_t = 0.8516 + 0.8046CO2pc_{t-1} - 0.0111GINI_t + 1.89 \times 10^{-15}PIB_t \\ - 1.74 \times 10^{-15}PIB_{t-1} + \varepsilon_t$$

La reparametrización dinámica en diferencias (tipo ECM) puede expresarse como:

$$\Delta CO2pc_t = -0.195(CO2pc_{t-1} - 0.8516 - 0.0111GINI_{t-1} - 1.89 \times 10^{-15}PIB_{t-1}) \\ + 1.89 \times 10^{-15}\Delta PIB_t + \mu_t$$

donde λ corresponde al coeficiente asociado al término rezagado en diferencias, que captura la persistencia dinámica del sistema:

$$\lambda = -0.195 \text{ (p} \approx 0.05 \text{) al umbral del 5\%}$$

Como no se encontró una conexión firme de largo plazo entre las variables, el modelo que se usa aquí no representa un verdadero modelo de corrección del error. Lo que muestra es cómo cambian las variables en el corto plazo y cómo algunas de ellas tienden a arrastrar efectos del pasado.

Uno de los resultados (el valor de λ , que es negativo) indica que cuando las emisiones de CO₂ se alejan de su comportamiento habitual en relación con la desigualdad y el crecimiento, una parte de ese desajuste se va corrigiendo en el año siguiente. Pero como no hay una relación estable entre las variables, esto no significa que el sistema se esté “ajustando” hacia un equilibrio. Más bien, refleja una especie de inercia: el sistema reacciona lentamente, pero no cambia de fondo.

En números, eso quiere decir que solo alrededor del 19 % de ese desajuste se reduce cada año. Esto muestra que el sistema energético colombiano es lento para adaptarse. Además, el

crecimiento económico sigue teniendo un impacto claro y directo sobre las emisiones a corto plazo, mientras que la desigualdad no muestra un efecto significativo.

Lo que esto nos dice, desde una perspectiva social y ambiental, es que el sistema energético de Colombia funciona con mucha inercia. Las emisiones de CO₂ no están reaccionando a cambios en la distribución del ingreso o a nuevas políticas, sino que siguen su propio camino, impulsadas sobre todo por el crecimiento económico.

En otras palabras, el país no está haciendo ajustes profundos para cambiar su forma de producir energía o reducir su impacto ambiental. Lo que está ocurriendo es que las emisiones siguen acumulándose, repitiendo el mismo patrón año tras año.

4.5.2 Modelo 2: Huella ecológica

La ecuación dinámica estimada para la huella ecológica puede expresarse como:

$$HUELLA_t = 0.8899 - 0.1514 HUELLA_{t-1} - 0.0662 GINI_{t-1} - 7.38 \times 10^{-16} PIB_{t-1} + v_t$$

La reparametrización dinámica en diferencias (tipo ECM) puede expresarse como:

$$\Delta HUELLA_t = -0.1514 (HUELLA_{\{t-1\}} - 0.8899 - 0.0662 \cdot GINI_{\{t-1\}} - 7.38 \times 10^{-16} \cdot PIB_{\{t-1\}}) + u_t$$

donde:

$$\lambda = -0.151 \text{ (} p \approx 0.062\text{)}.$$

Lo que muestran los datos es que, cuando las cosas se desajustan entre sí, por ejemplo, cuando cambian las emisiones en relación con la desigualdad o el crecimiento económico, el sistema intenta ajustarse un poco al año siguiente. Pero ese ajuste es lento, apenas corrige una parte pequeña (como el 15 %) y no es suficiente para decir que las cosas están volviendo realmente a un equilibrio. Es más bien una especie de reacción parcial, como cuando uno trata de enderezar algo, pero sin lograr que quede firme.

Lo que se ve con claridad es que, cada vez que la economía crece, también crece el daño al medio ambiente, y pasa rápido. Es como si cada paso que damos hacia más producción trajera, casi sin pensarlo, un golpe al entorno. Es una relación directa: más crecimiento, más presión ecológica.

La desigualdad, en cambio, se comporta distinto. No tiene un efecto inmediato sobre el medio ambiente. No “pega” de una sola vez. Está ahí, como una sombra constante, que no se nota tanto en el día a día, pero que va dejando huella con el tiempo. Funciona más como una base desigual sobre la que todo lo demás ocurre, y que, aunque no salte a la vista, termina afectando las posibilidades reales de cambiar las cosas.

Significa que el daño ambiental en Colombia está mucho más conectado con el ritmo de la economía que con cómo se reparte la riqueza. Cuando el país produce más, también contamina más. Pero no se ve que esté haciendo cambios profundos en la forma de crecer o de usar los recursos. La forma de consumir, de producir y de ocupar el territorio sigue siendo la misma, y eso hace que las presiones sobre el ambiente se mantengan o incluso aumenten.

No hay señales de que estemos avanzando hacia una manera más equilibrada o sostenible de vivir. Todo sigue funcionando con mucha inercia, repitiendo patrones del pasado.

Los pequeños ajustes que se ven en los modelos no significan que el sistema esté mejorando o equilibrándose.

Las cosas cambian, pero lo hacen lento y sin fuerza. La economía sigue siendo el principal factor que impulsa el daño ambiental. La desigualdad sigue ahí, como un problema de fondo que no se resuelve y que limita los cambios reales. Lo que todo esto nos muestra es que el sistema social, económico y ambiental en Colombia está desajustado. Cada parte va por su lado, sin coordinarse con las demás. La economía crece, pero el medio ambiente se deteriora, y no hay nada dentro del mismo sistema que esté corrigiendo ese rumbo.

4.6 Lectura socioecológica de los resultados

4.6.1 Persistencia de las emisiones: inercia metabólica

El modelo muestra que las emisiones de CO₂ por persona siguen casi el mismo camino año tras año. Lo que pasa hoy está muy marcado por lo que pasó antes. Con un valor tan alto, queda claro que estas emisiones no cambian con facilidad ni reaccionan rápido a situaciones puntuales. Más bien, se repite el mismo patrón una y otra vez.

Visto desde una perspectiva social y ambiental, esto nos dice algo importante: el sistema energético de Colombia es rígido. Depende mucho de los combustibles fósiles y de una forma de producir que todavía no ha logrado separarse del daño ambiental. Aunque haya advertencias sobre el impacto ecológico, la manera en que producimos, consumimos y usamos la energía sigue siendo prácticamente la misma.

En el fondo, esto muestra que el país funciona casi en piloto automático. Seguimos produciendo y consumiendo de la misma forma, aunque el daño al medio ambiente sea cada vez más evidente. Cambiar esa manera de hacer las cosas no es fácil porque implicaría transformar las bases mismas sobre las que se ha construido la economía del país durante años.

4.6.2 El crecimiento económico como detonante ecológico

Los resultados muestran que, en ambos modelos, el crecimiento económico tiene un efecto claro: cada vez que la economía crece, también lo hace el daño al medio ambiente. Esto se refleja tanto en el aumento de las emisiones de CO₂ como en el crecimiento de la huella ecológica.

No hay señales de que el país esté logrando crecer sin contaminar más. No se ve ningún tipo de “desacoplamiento” entre la economía y el impacto ambiental, ni parcial ni total. Al contrario, cada etapa de crecimiento económico viene acompañada de más presión sobre la naturaleza.

Esto confirma algo que ya se ha señalado desde la economía ecológica y la ecología política: que el modelo de desarrollo en países como Colombia sigue siendo muy dependiente del uso intensivo de recursos. Es un modelo basado en extraer y exportar materias primas, donde producir más casi siempre significa consumir más energía, más materiales y generar más contaminación.

4.6.3 Desigualdad como condicionante institucional de largo plazo

Aunque el índice de Gini, que muestra qué tan desigual está repartido el ingreso en el país, no tiene un impacto directo sobre las emisiones en el corto plazo, todo apunta a que sí influye de fondo en cómo funciona el sistema. La desigualdad no es la causa directa del daño ambiental, pero sí afecta qué tanto puede el país hacer algo al respecto.

En lugares donde la desigualdad es alta, suele haber menos inversión en cosas que benefician a todos, como el cuidado del ambiente. Además, cuando hay mucha desigualdad, suele haber menos recursos disponibles para el bien común y más dependencia de actividades como la minería o la extracción de recursos, que muchas veces terminan causando más daño al medio ambiente. Todo esto hace que el sistema sea menos capaz de adaptarse o resistir frente a las crisis ambientales.

En ese sentido, la desigualdad no es un factor que mueva los indicadores de un año a otro, pero sí es una de las razones por las que resulta tan difícil cambiar de rumbo. Limita las posibilidades de hacer transformaciones profundas y sostenibles en el modelo de desarrollo.

4.6.4 Un sistema sin equilibrio: acumulación sin sostenibilidad

Uno de los resultados más claros del estudio es que no hay una relación firme y duradera entre la desigualdad, el crecimiento económico y el daño al medio ambiente. Dicho de otro modo, el sistema social, económico y ambiental de Colombia no se está equilibrando con el tiempo. Al contrario, parece funcionar bajo una lógica que acumula problemas sin corregirlos.

Aunque algunos resultados muestran señales de ajuste, como ciertos valores negativos en las ecuaciones, esos ajustes son muy lentos y no alcanzan para compensar los cambios que trae cada nuevo ciclo económico. Al final, cada etapa de crecimiento deja una marca ambiental que se va acumulando, alimentando un patrón constante de desequilibrio y una forma de desarrollo que no es sostenible ni en lo social ni en lo ambiental.

4.7 Síntesis e implicaciones

Los resultados de los modelos analizados permiten sacar cuatro conclusiones importantes:

1. El crecimiento económico aumenta el daño ambiental. Esto se refleja tanto en el aumento de las emisiones de CO₂ por persona como en la huella ecológica. Es un reflejo claro de que el modelo de crecimiento en Colombia sigue siendo muy dependiente del uso intensivo de recursos naturales y materiales.
2. La desigualdad influye en la capacidad de respuesta. Aunque no se vio un impacto directo de la desigualdad en el corto plazo sobre el medio ambiente, sí quedó claro que afecta las condiciones sociales e institucionales para enfrentar el deterioro ecológico. En otras palabras, una sociedad desigual tiene menos herramientas para cuidar su entorno.
3. No hay señales de una relación estable a largo plazo. No se encontró evidencia estadística suficiente para decir que la desigualdad, el crecimiento económico y la presión ambiental estén conectados de forma duradera en el tiempo. Eso sugiere que el sistema no se está equilibrando ni alineando de forma natural.
4. Los pequeños ajustes no son suficientes. Aunque algunos resultados muestran señales de corrección, como ciertos valores negativos, esos cambios son muy lentos (de entre 15 % y 20 % por año) y no alcanzan para revertir el daño acumulado. Apenas ayudan a mitigar un poco los desajustes del momento.

Estos resultados pintan a Colombia como un país con un *metabolismo desigual*. Es decir, un sistema donde el crecimiento económico genera cada vez más uso de energía y materiales, pero los beneficios no se reparten por igual. Mientras algunos ganan con ese crecimiento, otros terminan cargando con los costos ambientales.

Como no se encontró una conexión estable de largo plazo entre las variables, los resultados no deben leerse como si el sistema estuviera buscando un equilibrio. Los ajustes que se ven son débiles y temporales. Lo que realmente muestran es una dinámica de corto plazo dentro de un modelo que no está corrigiendo sus desequilibrios, sino que los arrastra.

4.8 Pruebas de causalidad y tratamiento de la endogeneidad

Los resultados anteriores mostraron que no existe una relación estable y de largo plazo entre la desigualdad, el crecimiento económico y la presión sobre el medio ambiente. Eso significa que el sistema no busca por sí mismo un equilibrio duradero entre estas tres dimensiones.

Sin embargo, eso no impide que haya conexiones temporales, es decir, que cambios en una de estas variables puedan anticipar o acompañar cambios en otra sin que eso implique un ajuste estructural definitivo.

En este contexto, hablamos de endogeneidad en un sentido práctico y temporal: se refiere a que estas variables pueden influirse entre sí con el paso del tiempo, como si una reacción viniera después de otra, sin que esto pruebe causalidad definitiva entre ellas.

Para explorar estas relaciones de corto plazo, se estimó un modelo VAR en primeras diferencias y se aplicaron pruebas de causalidad de Granger. Este método es útil cuando las variables se comportan de forma constante en el tiempo, pero no están conectadas de manera estable a largo plazo. En otras palabras, nos ayuda a ver si hay relaciones entre ellas en el corto

plazo, sin asumir que el sistema esté en equilibrio o que todo encaje perfectamente entre desigualdad, crecimiento y medio ambiente.

El objetivo de este análisis es simple: ver si alguna de estas dimensiones, desigualdad, crecimiento o presión ambiental, tiene un papel dominante en el corto plazo dentro del sistema socioecológico colombiano, incluso cuando no existe un anclaje estructural entre ellas.

4.8.1 Selección del número de rezagos

Para decidir cuántos pasos hacia atrás (o rezagos) debía considerar el modelo VAR, se usaron tres herramientas estadísticas que ayudan a elegir la mejor opción: los criterios de Akaike (AIC), Hannan–Quinn (HQIC) y Schwarz–Bayesiano (SBIC). Estos se aplicaron a las variables ya transformadas para analizar sus cambios año con año: desigualdad (Δ GINI), emisiones de CO₂ por persona (Δ CO₂pc), huella ecológica (Δ HUELLA) y PIB (Δ PIB). Este enfoque es coherente con el hecho de que no hay una relación estable entre las variables en el largo plazo, y permite centrarse en cómo se relacionan entre sí en el corto plazo.

Tabla 13

Criterios de selección de rezagos para el modelo VAR

```
varsoc d_gini d_co2pc d_huella d_gdp
Selection-order criteria Sample: 1985-2023 Number of obs = 39
```

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1195.4				6.1e+21*	61.5076*	61.5688*	61.6782*
1	-1185.03	20.746	16	0.188	8.1e+21	61.7962	62.1023	62.6493
2	-1177.10	15.848	16	0.464	1.3e+22	62.2103	62.7613	63.7459
3	-1166.37	21.465	16	0.161	1.8e+22	62.4805	63.2763	64.6985
4	-1155.54	21.657	16	0.155	2.7e+22	62.7457	63.7864	65.6462

Nota. Criterios de selección de rezagos para el modelo VAR estimados con datos anuales (1985–2023). Elaboración propia con Stata 15.

Aunque uno de los criterios (AIC) sugería usar un modelo sin rezagos, eso no tendría mucho sentido económico, porque no permitiría ver cómo una variable influye en otra con el paso del tiempo. Por eso, se decidió usar un modelo con un solo rezago, conocido como VAR(1).

Este tipo de modelo es lo suficientemente simple como para no complicar demasiado el análisis, pero al mismo tiempo permite captar las relaciones más básicas entre las variables en el corto plazo. Esta elección también tiene sentido con lo que ya se había observado: que las conexiones entre las variables son débiles y que el sistema funciona en un contexto de desequilibrio que se mantiene en el tiempo.

4.8.2 Estimación del modelo VAR(1)

Con base en el criterio anterior, se estimó un VAR(1) en primeras diferencias. Los resultados generales se presentan en la Tabla 14, mientras que los coeficientes estadísticamente relevantes se resumen en la Tabla 15.

Tabla 14

Estimación del modelo VAR(1) en primeras diferencias

```
. var d_gini d_co2pc d_huella d_gdp, lags(1)
```

Vector autoregression
Sample: 1982–2023 Number of obs = 42
Log likelihood = -1272.46 AIC = 61.5457 HQIC = 61.8490
Det(Sigma_ml) = 2.43e+21 SBIC = 62.3731

Equation	RMSE	R ²	Chi ²	P>Chi ²
d_gini	.9044	0.2158	8.83	0.0655
d_co2pc	.0991	0.1059	4.13	0.3888
d_huella	.0585	0.1334	3.59	0.4634
d_gdp	1.7e+13	0.0111	0.47	0.9764

15. **Nota.** Modelo VAR(1) estimado en primeras diferencias. Elaboración propia con Stata

Tabla 15*Coefficientes seleccionados del VAR(1)*

Variable dependiente	Rezago	Coefficiente	p-valor	Interpretación
${}^3\Delta\text{GINI}_t$	ΔGINI_{t-1}	0.328	0.023	Persistencia distributiva: la desigualdad presenta inercia significativa en el corto plazo.
ΔGINI_t	ΔPIB_{t-1}	-1.82×10^{-14}	0.055	El crecimiento reduce marginalmente la desigualdad en el corto plazo, sin efectos estructurales duraderos.
$\Delta\text{CO}_2\text{pc}_t$	$\Delta\text{HUELLA}_{t-1}$	-0.625	0.049	La presión ecológica previa modera las emisiones actuales, sugiriendo un ajuste compensatorio transitorio.

Nota. Coeficientes seleccionados del modelo VAR(1). Elaboración propia con Stata 15.

En general, el modelo no logra explicar mucho. Los resultados muestran que su capacidad para describir cómo se relacionan las variables es bastante limitada: los valores de R^2 son bajos y la mayoría de las pruebas estadísticas no arrojan resultados significativos. Esto refuerza lo que ya se había visto antes: no hay vínculos claros o consistentes entre la desigualdad, el crecimiento económico y la presión ambiental.

Aun así, hay algunos puntos que vale la pena destacar:

La desigualdad tiende a mantenerse estable en el corto plazo, lo que indica que es una característica bastante rígida del sistema, que no cambia fácilmente de un año a otro.

El crecimiento económico parece tener un efecto leve y pasajero en la reducción de la desigualdad, pero no es algo fuerte ni duradero.

La huella ecológica del año anterior tiene un efecto pequeño sobre las emisiones actuales, lo que sugiere que hay algunos ajustes ambientales, pero son muy limitados.

³ d_x denota la primera diferencia de la variable x (Δx).

Por otro lado, el modelo no encontró evidencia clara de que el crecimiento económico tenga un impacto consistente sobre las variables ambientales durante el periodo analizado. En pocas palabras, este modelo VAR(1) confirma lo que ya se venía viendo: si no hay una conexión fuerte entre desigualdad, crecimiento y presión ambiental en el largo plazo, tampoco la hay en el corto plazo. Las conexiones entre estas variables son frágiles, cambian mucho y no siguen un camino claro.

Esto confirma la idea principal del estudio: el sistema colombiano no tiene formas propias de corregir sus problemas, ni los sociales ni los ambientales. Dicho de otro modo, el país no está avanzando por sí solo hacia un desarrollo más justo ni más amigable con el medio ambiente. Para que eso ocurra, se necesita una intervención clara y decidida.

4.8.3 Interpretación de los resultados del VAR(1)

Los resultados del modelo VAR(1) nos ayudan a entender mejor cómo se relacionan la desigualdad, el crecimiento económico y la presión sobre el medio ambiente en Colombia en el corto plazo. A partir de esto, se pueden ver tres cosas importantes:

Primero, la desigualdad no cambia fácilmente. Cuando la desigualdad aumenta, suele quedarse en niveles altos durante bastante tiempo. Esto nos habla de que existen raíces profundas que frenan una distribución más equitativa de la riqueza. Y como no es fácil reducirla, también se complica que los frutos del crecimiento económico lleguen a más personas o que el país esté mejor preparado para enfrentar los retos ambientales.

En segundo lugar, cuando se produce crecimiento económico, es posible que observemos una ligera disminución en la desigualdad (aunque este último cambio es efímero e irrelevante), y más que una modificación estructural aparece como si se tratara de una imagen efímera del

momento económico sin que en realidad cambie el modo de desgastar de los ingresos las personas que nacen y nacen en la calidad de los ingresos.

En tercer lugar, la huella ecológica registrada en un año dada y las emisiones de CO₂ de un año subsiguiente son muy débiles, lo cual podría explicarse por hechos como en un uso un poco más eficiente de los recursos o traslados de actividades entre sectores, pero no se infiere que Colombia esté transitando hacia un modelo de producción y consumo más limpio o razones que se basan en la desigualdad generada por esta raza de los ingresos.

En conjunto, lo que se dibuja es un sistema con mucha inercia, donde los distintos componentes están vinculados, pero esas conexiones son frágiles y de corta duración. Las relaciones entre desigualdad, crecimiento y presión ambiental sí cambian, pero no logran modificar las tendencias profundas.

Todo esto refuerza la conclusión principal del estudio: el sistema socioecológico colombiano no tiende a corregirse por sí solo. Los problemas se acumulan con el tiempo, y no existen mecanismos internos que los resuelvan o los compensen de forma natural.

4.9 Pruebas de causalidad de Granger

Para analizar cómo se relacionan en el tiempo, a corto plazo, la desigualdad en la distribución del ingreso, el crecimiento económico y la presión ambiental, se aplicaron pruebas de causalidad de Granger utilizando las series ya transformadas en primeras diferencias para que fueran estacionarias. Estas pruebas permiten ver si los valores pasados de una variable ayudan a predecir otra, una vez que se ha tomado en cuenta el comportamiento previo de esa misma variable. Es importante aclarar que este enfoque no implica una relación causal directa ni un equilibrio estructural entre las variables.

Las pruebas se basaron en el modelo VAR(1) estimado en la sección anterior, y se trabajó con las siguientes variables: desigualdad (Δ GINI), emisiones de CO₂ per cápita (Δ CO₂pc),

huella ecológica (Δ HUELLA) y producto interno bruto real (Δ PIB). En cada caso, la hipótesis nula plantea que la variable que se deja fuera no tiene un efecto causal (en el sentido de Granger) sobre la variable dependiente, una vez considerada la información contenida en los rezagos del sistema.

Los resultados del test de Wald (χ^2) se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16

Pruebas de causalidad de Granger (Wald tests)

Granger causality Wald tests				
Equation	Excluded	chi2	df	Prob > chi2
d_gini	d_co2pc	0.014	1	0.905
d_gini	d_huella	1.526	1	0.217
d_gini	ALL	2.090	2	0.352
d_co2pc	d_gini	0.945	1	0.331
d_co2pc	d_huella	3.887	1	0.049
d_co2pc	ALL	4.116	2	0.128
d_huella	d_gini	2.523	1	0.112
d_huella	d_co2pc	1.105	1	0.293
d_huella	ALL	3.001	2	0.223
d_gdp	d_gini	0.349	1	0.555
d_gdp	d_co2pc	0.028	1	0.867
d_gdp	d_huella	0.006	1	0.940
d_gdp	ALL	0.453	3	0.929

Nota. Pruebas de causalidad de Granger estimadas en Stata 15.

4.9.1 Resultados principales

El único resultado estadísticamente significativo al umbral del 5 % corresponde a la relación:

$$\Delta\text{HUELLA} \rightarrow \Delta\text{CO}_2\text{pc}$$

$$(\chi^2 = 3.887; p = 0.049)$$

Este resultado permite rechazar la hipótesis nula y muestra que, en el corto plazo, la relación va en una sola dirección: la huella ecológica influye sobre las emisiones de CO₂ per cápita. En términos prácticos, esto indica que los patrones acumulados de consumo, el uso del

suelo y la forma en que se aprovechan los recursos naturales suelen anticipar y marcar los aumentos posteriores de las emisiones, más que ser una respuesta directa al crecimiento económico del momento.

4.9.2 Interpretación de las relaciones causales

Huella ecológica → Emisiones de CO₂

La única relación clara que se encontró apunta a que el daño al medio ambiente no ocurre de un día para otro, sino que se va acumulando con el tiempo. En otras palabras, cuando usamos cada vez más materiales y recursos naturales, vamos creando las condiciones que, más adelante, hacen que aumenten las emisiones de carbono. Así que el deterioro ambiental no es una reacción inmediata al crecimiento económico, sino un proceso lento y constante que se arrastra durante años.

Según lo encontrado, que crezca el PIB no significa automáticamente que haya más daño al medio ambiente en el corto plazo. Sin embargo, sí hay una relación, aunque más indirecta, que depende de cómo se produce, se consume y se reparte la riqueza. Esto va de la mano con la idea de que la economía es un sistema donde todo está conectado.

En el corto plazo, la desigualdad no parece tener un efecto directo sobre el medio ambiente. Pero eso no significa que no influya. Al contrario: como es un problema que se mantiene con el tiempo y cuesta mucho mover, termina afectando la forma en que el país puede (o no puede) responder a los retos ambientales. Tiene que ver con las capacidades del gobierno, de los territorios y de la sociedad para manejar, o incluso agravar, la presión sobre el entorno. En resumen: la desigualdad no contamina, pero sí afecta el terreno en el que se juega la batalla ambiental.

4.9.3 Síntesis interpretativa

En pocas palabras, las pruebas confirman que el crecimiento, la desigualdad y el medio ambiente no siempre están ligados ni se afectan de forma clara. Su relación no es clara ni siempre se comporta de la misma manera. No se influyen entre sí de manera directa ni predecible.

La huella ecológica ocurre antes que el aumento en las emisiones, lo que sugiere que el daño ambiental se va acumulando y luego influye en cómo usamos la energía.

El deterioro del ambiente no es una reacción inmediata al crecimiento económico, sino el resultado de un modelo de desarrollo que extrae intensivamente recursos y mantiene una desigualdad social profunda.

Estos resultados apoyan la idea central del capítulo: la economía colombiana funciona de manera desigual. En este modelo, el uso excesivo de los recursos naturales y la desigualdad que ya está instalada no solo vienen antes del daño ambiental, sino que también lo causan y lo mantienen en el tiempo. Y lo más preocupante es que no hay señales de que existan mecanismos internos en el sistema que puedan revertir este camino, ni en el corto ni en el largo plazo.

4.10 Análisis de las variables no incluidas en los modelos econométricos

Los resultados del análisis econométrico muestran que la relación entre desigualdad, crecimiento económico y daño ambiental en Colombia ocurre principalmente en el corto plazo. Estas conexiones son débiles, desiguales y no hay evidencia clara de que se mantengan estables a largo plazo.

Sin embargo, entender cómo funciona el sistema social y ambiental del país va más allá de lo que pueden mostrar los modelos ARDL y VAR. Hay factores estructurales importantes que no se incluyeron en el análisis, por razones metodológicas: falta de datos completos en el tiempo, variables que no son numéricas o tipos de datos que no se ajustan bien a estos modelos (como las series llamadas $I(2)$, que tienen demasiada variabilidad para los supuestos del modelo).

Esto no quiere decir que se haya pasado por alto esa información, sino que se reconoce que los modelos econométricos tienen límites cuando se trata de analizar procesos históricos complejos, como los que afectan al territorio y a las instituciones.

Por eso, esta parte del estudio busca complementar los resultados numéricos e interpretar sus implicaciones, en línea con el tercer objetivo del trabajo: analizar factores estructurales que han influido en la desigualdad social y la crisis ambiental en Colombia entre 1980 y 2023.

Se abordan temas como el índice de Palma (que mide la concentración del ingreso), la distribución de la tierra, la pérdida de cobertura forestal, la vulnerabilidad al cambio climático y el conflicto armado. Estas variables muestran cómo se reproduce el funcionamiento desigual del sistema: quién controla los recursos, en qué territorios se sienten más los impactos ambientales y qué tan capaces son las instituciones para enfrentar estos retos.

4.10.1 Índice de Palma

El índice de Palma (ingreso del 10 % más rico / ingreso del 40 % más pobre) complementa al Gini al concentrarse en los extremos distributivos. Su evolución desde los años noventa refleja la persistencia de una estructura en la que los excedentes se concentran en los estratos superiores, coherente con la rigidez distributiva identificada previamente.

En esta investigación, el Palma se utiliza como indicador de contraste para validar el patrón capturado por el Gini. La alta correlación entre ambos ($r = 0.84$; $p < 0.01$) indica coherencia: ambos recogen un mismo núcleo de concentración del ingreso.

La regresión simple exploratoria entre Palma y CO_2pc arroja un coeficiente negativo ($\beta = -0.55$; $p = 0.004$; $R^2 = 0.36$). Este resultado no debe interpretarse como desacoplamiento virtuoso entre desigualdad y emisiones. Más bien sugiere que las variaciones distributivas observadas, incluidas mejoras parciales en algunos periodos, no alteran la trayectoria metabólica

de las emisiones, dominada por la matriz energética, la especialización productiva y la intensidad material del crecimiento.

En síntesis, el índice de Palma refuerza el argumento central: la desigualdad no aparece como determinante inmediato de las emisiones, pero funciona como condición estructural que limita la transformación del patrón productivo y la capacidad de sostener reducciones ambientales.

4.10.2 Concentración de la tierra

La concentración de la tierra, es decir, qué tanto del campo está en manos del 1 % de las fincas, refleja una de las formas más profundas y duraderas de desigualdad en el campo colombiano. Esta situación se ha mantenido casi sin cambios durante años, lo que muestra que la forma en que se reparte la tierra sigue siendo muy desigual.

Esto no solo mantiene la desigualdad, sino que también tiene efectos ambientales: cuando pocas personas controlan grandes extensiones, aumentan actividades como la ganadería extensiva o la expansión de la agricultura hacia zonas de bosque, lo que genera presión sobre los ecosistemas.

Desde una perspectiva socioecológica, la concentración agraria opera como un determinante estructural del uso del suelo: allí donde la tenencia se concentra, se intensifican dinámicas asociadas a expansión de frontera agropecuaria, ganadería extensiva y actividades extractivas, con impactos sobre deforestación y conflictos territoriales.

La correlación negativa entre concentración agraria y cobertura forestal ($r = -1.00$; $p \approx 0.04$) debe leerse con cautela debido al tamaño muestral extremadamente reducido, por lo que no se interpreta como relación estructural sino como indicio descriptivo, pero su magnitud es consistente con un patrón donde la apropiación desigual del suelo se asocia a pérdida de bosque.

A su vez, la correlación positiva con PIB ($r = 0.91$) sugiere que el crecimiento ha coexistido con, y en algunos tramos se ha apoyado en, una estructura territorial excluyente.

La regresión simple con CO_2pc es positiva ($\beta = 0.026$) pero no significativa ($p = 0.468$), lo cual es esperable dada la baja disponibilidad de observaciones. Analíticamente, esto indica que la concentración de la tierra no opera como un disparador inmediato de emisiones, sino como un mecanismo de fondo que condiciona deforestación, especialización productiva y desigualdad territorial.

4.10.3 Cobertura forestal (deforestación)

La cobertura forestal registra una trayectoria descendente persistente desde 1980, con episodios de aceleración asociados a expansión agropecuaria, minería (legal e ilegal), economías ilícitas y reconfiguraciones territoriales ligadas al conflicto armado. Es uno de los indicadores más críticos del deterioro ecológico colombiano.

Su exclusión de los ARDL fue estrictamente econométrica: la serie resultó integrada de orden dos [I(2)]. Este resultado es, en sí mismo, un hallazgo sustantivo: la deforestación responde a un proceso más acumulativo e inercial que las variables económicas y distributivas I(1), lo que impide modelarla dentro de marcos que presuponen relaciones en niveles con memoria “moderada”. En términos sustantivos: el territorio no “ajusta”; presenta procesos de degradación con profundidad histórica.

La regresión simple entre conflicto armado y cobertura forestal arroja un coeficiente positivo y significativo ($\beta = 1.43$; $p = 0.009$; $R^2 = 0.20$), sugiriendo que en años de mayor intensidad bélica la presión productiva directa puede disminuir por abandono/contracción de actividades en zonas de disputa. Esto no implica conservación: sugiere un “efecto de contención” contingente. En las etapas de posconflicto, cuando se abren nuevamente los territorios y se reactivan tanto economías legales como ilegales, suele acelerarse la pérdida de

bosques. Es decir, lo que se había contenido por la guerra, se revierte rápidamente una vez termina.

En general, la pérdida de cobertura forestal muestra que la deforestación no se mueve al mismo ritmo que las variables económicas. Mientras estas cambian poco y lentamente, la deforestación sigue su propio camino: más profundo, más constante y mucho más difícil de frenar.

4.10.4 Vulnerabilidad climática

El índice de vulnerabilidad climática de la Universidad de Notre Dame mide qué tanto está expuesto un país al cambio climático y qué tan preparado está para enfrentarlo. En el caso de Colombia, este índice muestra que la vulnerabilidad sigue siendo alta desde mediados de los años noventa, con pocas mejoras y muchas diferencias entre regiones. Las zonas rurales y periféricas son las más afectadas.

Desde el enfoque de capacidades (como plantea Amartya Sen), esta vulnerabilidad no es solo un problema ambiental. También refleja carencias profundas: falta de infraestructura, servicios básicos, protección social, acceso a información y debilidad institucional. Todo esto influye en quiénes pueden adaptarse al cambio climático y quiénes quedan más expuestos a sus efectos. Por tanto, la vulnerabilidad funciona como condición de fondo más que como shock transitorio. Al comparar la vulnerabilidad climática con la huella ecológica, se encontró una relación positiva, pero no significativa. Es decir, los datos no muestran una conexión clara y directa entre ambas en el corto plazo, posiblemente porque la información disponible es limitada o porque la relación entre ellas es más compleja.

Aun así, esto no le quita importancia al tema. Más bien, sugiere que la vulnerabilidad climática no actúa de forma inmediata, sino que se acumula con el tiempo, haciendo más graves

los impactos y reforzando las desigualdades entre territorios. No es algo que se vea en cifras de un año a otro, pero sí en los efectos que se van sumando.

En conjunto, la vulnerabilidad climática refuerza el diagnóstico de retroalimentación adversa: desigualdad → menor capacidad adaptativa → mayor exposición → mayor daño socioecológico.

4.10.5 Conflicto armado

El conflicto armado ha desempeñado un papel importante en el aumento de las desigualdades entre las regiones y en el daño medioambiental. En este estudio, se toma en cuenta una categoría que cambia cada año (0 = paz, 1 = conflicto, 2 = guerra) para entender cómo la economía y el medio ambiente han cambiado a lo largo del tiempo en este contexto.

Más que un fenómeno aislado, el conflicto funciona como un mecanismo que reconfigura los territorios: el despojo, el control armado, las economías ilegales y la falta de regulación transforman el uso del suelo y afectan la forma en que se gestiona el medio ambiente. Por eso, sus efectos no siguen una línea recta ni se mantienen constantes en el tiempo.

Los datos preliminares muestran que, en momentos de alta intensidad del conflicto, puede haber una disminución relativa en la presión directa sobre ciertos ecosistemas ($\beta = 1.43$; $p = 0.009$ en el análisis de cobertura forestal). Esto parece deberse a la reducción forzada de actividades en zonas bajo disputa. No obstante, este efecto es temporal: cuando se da una reapertura territorial sin cambios en las estructuras agrarias ni en las instituciones, tienden a intensificarse los procesos de ocupación del suelo y deforestación.

En resumen, el conflicto confirma el hallazgo principal de este capítulo: el sistema socioecológico colombiano no evoluciona como un proceso de ajuste gradual, sino como una superposición de dinámicas acumulativas, violencia, concentración de tierras y explotación intensiva, que mantienen un estado de desequilibrio estructural.

4.11 Conclusión del análisis estructural

Los análisis estadísticos de las variables que no se incluyeron en los modelos econométricos principales ayudan a completar el panorama mostrado por el resto del capítulo. En conjunto, la evidencia indica que, aunque estén fuera de los modelos ARDL y VAR, factores como la desigualdad, la concentración del territorio y las condiciones institucionales siguen estando fuertemente relacionados con el daño ambiental. Esto refuerza la idea de que el sistema social y ambiental en Colombia funciona en un estado de desequilibrio estructural.

Además, se observa una gran coherencia entre los distintos indicadores de desigualdad, así como conexiones claras entre concentración de la tierra, pérdida de bosques y conflicto armado. Estas relaciones no deben verse como causas directas o efectos inmediatos, sino como patrones de fondo que han marcado la historia del país en términos de cómo se usa el territorio y quién controla los recursos.

Tabla 17

Comprobación estadística de relaciones estructurales entre desigualdad y deterioro ambiental (1980–2023)

Relación analizada	Coefficiente / r	Signo	Significancia	Evidencia empírica
Gini – Palma	0.84	+	p < 0.01	Alta coherencia entre indicadores distributivos
Palma – CO ₂ pc	-0.55	-	p = 0.004	Relación negativa no estructural entre desigualdad y emisiones
Concentración de la tierra – Cobertura forestal ⁴	-1.00	-	p ≈ 0.04	Desigualdad agraria asociada a pérdida de bosque
Concentración de la tierra – PIB	0.91	+	p < 0.10	Crecimiento coexistente con concentración territorial
Conflicto armado – Cobertura forestal	1.43	+	p = 0.009	Reducción transitoria de presión productiva en años de guerra
Vulnerabilidad climática – Huella ecológica	0.013	+	p = 0.357	Tendencia esperada sin significancia estadística

Nota. Coeficientes de correlación y pruebas de significancia para el período 1980–2023.

Elaboración propia.

En conjunto, estas evidencias confirman que las variables estructurales y distributivas mantienen asociaciones consistentes con las dimensiones ambientales, aun cuando no puedan ser incorporadas directamente en modelos econométricos dinámicos estándar. La desigualdad social, la concentración de la tierra, la vulnerabilidad climática y el conflicto armado no solo contribuyen a explicar la degradación ambiental, sino que amplifican sus impactos sociales y territoriales, reforzando procesos persistentes de exclusión y fragilidad institucional.

Este conjunto de resultados empíricos y contextuales respalda de manera robusta la hipótesis central de la investigación: “que la desigualdad social y la crisis ambiental en

⁴ Resultado sensible al tamaño muestral reducido; interpretar como indicio descriptivo.

Colombia forman parte de un mismo proceso estructural de acumulación y exclusión”, en el cual las dinámicas productivas y territoriales reproducen un modelo de desarrollo profundamente inequitativo y ambientalmente insostenible. Lejos de tratarse de desviaciones transitorias corregibles mediante ajustes marginales, estas dinámicas configuran un régimen persistente de desequilibrio socioecológico.

5 **Discusión y Conclusiones.**

Este trabajo nació de una pregunta sencilla: ¿por qué, a pesar de tantos años de crecimiento económico, en Colombia siguen existiendo altos niveles de desigualdad y un deterioro ambiental cada vez más visible? La expectativa inicial era que, con el tiempo, la economía lograra algún tipo de ajuste entre lo social y lo ambiental. Sin embargo, los resultados muestran que eso no ocurre. Lo que aparece, una y otra vez, es un sistema que no se corrige, sino que arrastra y acumula problemas.

Desde el principio, esta investigación entendió la desigualdad y el daño ambiental como partes de un mismo proceso. No se trata de dos crisis separadas que coinciden por casualidad, sino de dinámicas que crecen juntas. Al observar la historia económica del país, se hace evidente que el crecimiento no ha sido capaz de repartir mejor los beneficios ni de reducir la presión sobre la naturaleza. Más bien, ha convivido con una desigualdad muy estable y con un deterioro ambiental que avanza de forma silenciosa, pero constante.

Al mirar los datos con calma, lo primero que llama la atención es que la desigualdad casi no cambia. Suba o baje la economía, la distribución del ingreso se mantiene muy parecida. Esto da una señal clara: no estamos frente a un problema temporal, sino frente a una estructura que se repite. Al mismo tiempo, las variables ambientales muestran un desgaste continuo. No hay grandes saltos que luego se corrijan; hay un desgaste lento, acumulado, que deja huella.

Uno de los resultados más fuertes del estudio tiene que ver con el territorio. La pérdida de bosques no sigue el ritmo de la economía. No mejora cuando hay crecimiento ni se frena cuando hay crisis. Simplemente continúa. Esto sugiere que el deterioro del territorio responde a problemas más profundos: decisiones sobre el uso del suelo, conflictos, economías ilegales y una presencia institucional débil en muchas regiones del país. En este sentido, el territorio aparece como el lugar donde el desequilibrio se vuelve más visible y más difícil de revertir.

Cuando se analizan las relaciones entre crecimiento económico y ambiente, los resultados muestran algo que, aunque incómodo, no sorprende: cuando la economía crece, la presión ambiental aumenta. Se producen más emisiones y se utilizan más recursos. Además, estos efectos tienden a repetirse año tras año, lo que indica que cambiar la forma en que

producimos y consumimos no es sencillo. El modelo económico tiene una inercia fuerte que empuja siempre en la misma dirección.

En cambio, la desigualdad no aparece como una causa directa e inmediata del aumento del daño ambiental. Pero esto no quiere decir que la desigualdad no importe. Al contrario. La desigualdad está siempre ahí, como un piso duro que no se mueve y que frena cualquier intento de cambio. Cuando la riqueza y las decisiones quedan en manos de unos pocos, es mucho más difícil ponerse de acuerdo como sociedad para cuidar el territorio o cambiar la forma en que producimos y vivimos. Las prioridades terminan siendo otras, y el ambiente suele quedar en segundo plano.

Uno de los resultados más claros de este estudio es que no hay una relación estable en el tiempo entre la desigualdad, el crecimiento económico y el ambiente. No avanzan juntas ni en la misma dirección. A veces se tocan, a veces una influye un poco en la otra, pero luego cada una sigue su propio camino. No hay un rumbo compartido ni un punto al que todas lleguen. Esa falta de acompañamiento constante es justamente lo que muestra que el sistema no logra ordenarse ni corregirse por sí solo. Esto significa que el sistema no tiene mecanismos internos que lo ayuden a corregirse con el tiempo.

En términos simples, el crecimiento no reduce la desigualdad de manera duradera, la desigualdad no genera presiones suficientes para cambiar el modelo económico, y el deterioro ambiental no logra convertirse en una señal clara que frene o redireccione el crecimiento. Cada problema avanza por su cuenta, y esa falta de coordinación es, en sí misma, una forma de desequilibrio.

Visto todo en conjunto, lo que aparece es un sistema que no conversa consigo mismo. Lo social, lo económico y lo ambiental van cada uno por su lado. A veces se rozan, a veces se afectan un poco, pero no se escuchan de verdad. No hay una respuesta clara del sistema cuando algo va mal. Por eso los problemas no se corrigen a tiempo: se van acumulando, año tras año, hasta volverse parte del paisaje.

Desde esta forma de mirar las cosas, el mensaje es bastante claro. No alcanza con crecer un poco más, ni con hacer ajustes pequeños para “mitigar” el daño ambiental, ni con esperar

que el mercado o la tecnología arreglen lo que no se ha querido enfrentar de fondo. La evidencia muestra que hace falta ir más profundo: repartir mejor la riqueza, cuidar el territorio de manera real y sostenida, y lograr que las instituciones piensen el desarrollo más allá de lo inmediato y lo rentable.

En ese sentido, esta tesis muestra que la desigualdad social y la crisis ambiental en Colombia no son errores aislados ni accidentes del camino. Son parte de la forma en que el sistema ha funcionado durante décadas. El principal aporte de este trabajo es dejar en evidencia que el sistema socioecológico colombiano no camina hacia un equilibrio, sino que se mantiene en un desequilibrio constante, donde el crecimiento económico no soluciona los problemas, sino que muchas veces los profundiza.

Más que algo que vaya a desaparecer con el tiempo, este desequilibrio parece estar metido en la forma misma en que se ha pensado y construido el desarrollo en el país. Darse cuenta de eso no significa rendirse, sino todo lo contrario. Es el primer paso para dejar de insistir en las mismas recetas de siempre y empezar a imaginar caminos distintos, que no nos lleven una y otra vez al mismo lugar.

6 Referencias bibliográficas

Banco Mundial. (2024). *World Development Indicators*.
<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

Centro Nacional de Memoria Histórica. (2022). *Tierra y conflicto armado en Colombia*.
<https://www.centrodememoriahistorica.gov.co>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2024). *Estadísticas e indicadores sociales*.
<https://statistics.cepal.org>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). *Indicadores sociales y económicos*.
<https://www.dane.gov.co>

Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). **Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing**. *Econometrica*, 55(2), 251–276.
<https://doi.org/10.2307/1913236>

Global Footprint Network. (2024). *National Footprint and Biocapacity Accounts*.
<https://data.footprintnetwork.org>

Gudynas, E. (2015). *Extractivismos: Ecología, economía y política de un modo de entender el desarrollo y la Naturaleza*. Centro Latino Americano de Ecología Social (CLAES).

Hickel, J. (2020). *Less is more: How degrowth will save the world*. William Heinemann.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). *Monitoreo de la deforestación en Colombia 2022–2023*. <https://www.ideam.gov.co>

Kripfganz, S., & Schneider, D. C. (2020). Response surface regressions for critical value bounds and approximate p-values in equilibrium correction models. *Journal of Applied Econometrics*, 35(6), 686–703. <https://doi.org/10.1002/jae.2789>

Martínez-Alier, J. (2021). *El ecologismo de los pobres: Conflictos ambientales y lenguajes de valoración* (ed. ampliada). Icaria Editorial. (Obra original publicada en 2002)

Moore, J. W. (2020). *El capitalismo en la trama de la vida: Ecología y acumulación de capital* (M. J. Castro Lage, Trad.). Traficantes de Sueños. (Obra original publicada en 2015)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). *FAOSTAT: Forestry – Forest resources statistics*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289–326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>

Phillips, P. C. B., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335–346. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>

StataCorp. (2021). *Stata Statistical Software: Release 15*. StataCorp LLC.

University of Notre Dame. (2024). *ND-GAIN Country Index*. Notre Dame Global Adaptation Initiative. <https://gain.nd.edu>

World Inequality Database. (2024). *World Inequality Database*.
<https://wid.world>

7 APÉNDICE A

Los anexos técnicos esenciales para la continuidad del estudio se encuentran adjuntos en archivo comprimido (.zip) dentro del repositorio institucional UIS.