

Fronteras disciplinarias y brechas explicativas en la investigación sobre el cambio de uso del suelo: una síntesis conceptual comparativa

Claudia Coral^{1*}, Robert Carcamo Mallen^{1,2}, Valerie Graw³

Resumen. La investigación sobre el cambio de uso del suelo articula múltiples disciplinas y marcos epistemológicos, lo que enriquece la comprensión del fenómeno y, a la vez, plantea el desafío de integrar explicaciones provenientes de tradiciones teóricas heterogéneas. Asimismo, persisten desafíos metodológicos para representar las interacciones entre los actores y sus contextos a lo largo de escalas temporales amplias. En este artículo realizamos un análisis conceptual comparativo cualitativo de las principales tradiciones teóricas que han configurado este campo entre 1980 y 2022, para identificar desafíos explicativos comunes. Sintetizamos tres brechas clave: (i) el contexto del cambio de uso del suelo, (ii) el desafío micro–macro y (iii) el potencial predictivo. Concluimos que abordar estas brechas requiere una integración teórica más sólida entre perspectivas disciplinarias complementarias, e identificamos enfoques integradores y participativos con potencial para fortalecer la investigación y la modelización futuras del uso del suelo.

Palabras clave: Cambio de uso del suelo; Explicaciones científicas; Contexto; Desafío micro–macro; Predicción.

Abstract. Research on land-use change brings together multiple disciplines and epistemological frameworks, enriching the understanding of the phenomenon while also posing the challenge of integrating explanations drawn from heterogeneous theoretical traditions. Methodological challenges also persist in representing interactions between actors and their contexts across broad temporal scales. In this article, we conduct a comparative conceptual qualitative analysis of the main theoretical traditions that have shaped this field between 1980 and 2022, in order to identify common explanatory challenges. We synthesize three key gaps: (i) the context of land-use change, (ii) the micro–macro challenge, and (iii) predictive potential. We conclude that addressing these gaps requires stronger theoretical integration across complementary disciplinary perspectives, and we identify integrative and participatory approaches with the potential to strengthen future land-use research and modelling.

¹ Departamento de Economía Agrícola y Gestión de la Cadena Agroalimentaria, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlín, Alemania.

² Grupo de Investigación en Geomática, Instituto de Geografía, Facultad de Geociencias, Ruhr-Universität Bochum (RUB), Bochum, Alemania.

³ Instituto Tecnológico del Valle de Etla, Abasolo S/N, Barrio del Agua Buena, 68230, Oaxaca, México.

* Autor de contacto. Correo electrónico: claudia.coral@hu-berlin.de

Keywords: *Land change science; Land system science; Land-use change; Scientific explanations; Context; Micro-macro challenge; Prediction.*

INTRODUCCIÓN

Explicar cómo las personas usan el suelo y transforman su cobertura, impulsando el cambio ambiental y siendo, a la vez, afectadas por éste, constituye una cuestión central en campos como la ecología, las ciencias ambientales, la economía y la sociología (Müller, 2016; Walters, 2022). El uso del suelo⁴ ha sido descrito como la manera en que los seres humanos utilizan el suelo y se vincula con las actividades que tienen lugar en un sitio determinado, mientras que la cobertura del suelo describe las características físicas de la superficie, por ejemplo, la cobertura de cultivos o la cobertura forestal, en ese mismo sitio; sin embargo, estos conceptos conceptualmente distintos están estrechamente vinculados (Robinson et al., 2018).

Comprender los procesos de cambio del uso y la cobertura del suelo resulta hoy especialmente relevante, dado que varias de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible dependen, directa o indirectamente, de las instituciones y mecanismos de gobernanza que regulan el uso de la tierra (Foley et al., 2005; Heck et al.,

2018; Munroe y Müller, 2020; OECD, 2020). Pese a décadas de investigación, desarrollar un marco teórico general que oriente la comprensión del cambio de uso del suelo sigue siendo un desafío abierto (Turner et al., 2021). Una razón de fondo es que los sistemas de uso del suelo son examinados por múltiples disciplinas cuyos enfoques a menudo reflejan diferentes tradiciones epistemológicas y marcos analíticos, lo que crea fronteras intelectuales entre campos que pueden obstaculizar la integración. Dado que los supuestos disciplinarios moldean la forma en que se explica el cambio de uso del suelo, perspectivas disciplinarias complementarias pueden conducir a diferentes interpretaciones del comportamiento humano y, en consecuencia, a implicaciones divergentes para la toma de decisiones y la política pública (Malek et al., 2019; Schill et al., 2019). Como señalaron Guterbock et al. (1980), los miembros de una disciplina tienden a centrar su atención en los vínculos causales propios de su campo, mientras que aquellos estudiados por otras disciplinas pueden recibir menor consideración o quedar fuera de sus marcos explicativos. Esta fragmentación tiene consecuencias explicativas concretas. Una revisión sistemática de la literatura publicada entre 1950 y 2018 muestra que la teoría económica basada en la maximización de la utilidad y el interés propio sigue siendo el marco explicativo dominante en muchos estudios de caso, lo que puede sobredimensionar el papel de las motivaciones económicas en la toma de decisiones subyacente al cambio de uso del suelo (Malek et al., 2019). Aunque cada perspectiva contribuye a una mejor comprensión de un aspecto particular del comportamiento humano, siguen siendo limitados los enfoques capaces de representar simultáneamente la interacción entre diversos actores y los contextos más amplios que estos generan a lo largo de horizontes temporales más extensos (Schill et al., 2019).

⁴ En este artículo utilizamos 'cambios de uso y cobertura del suelo' para referirnos a land-use and land-cover change (LULCC), siguiendo la terminología empleada en la literatura científica en español. En cambio, mantenemos las denominaciones originales Land Change Science (LCS) y Land System Science (LSS) en inglés, ya que corresponden a nombres propios de campos de investigación interdisciplinarios consolidados institucionalmente (véase Antecedentes), cuya traducción no está estandarizada en la literatura en español.

Sostenemos que los avances en la disponibilidad de datos y en las técnicas de modelización, aunque sustanciales, no bastan por sí solos para resolver estos desafíos explicativos. Fortalecer las explicaciones del cambio de uso del suelo requiere clarificar e integrar los supuestos teóricos que atraviesan las distintas tradiciones disciplinarias, tanto como acumular más datos o refinar los modelos. Antes que atribuir estos desafíos a disciplinas particulares, los entendemos como transversales a la literatura, en la medida en que reaparecen, aunque con distintos lenguajes, en diversas tradiciones teóricas.

Con este fin, realizamos un análisis conceptual comparativo cualitativo de las principales tradiciones teóricas que han configurado la investigación sobre el cambio de uso del suelo entre 1980 y 2022, orientado por la trayectoria histórica y los avances metodológicos y conceptuales del campo (Figura 1), más que por una cartografía exhaustiva de cada disciplina. La sección de antecedentes sintetiza esa trayectoria; sobre esa base, identificamos y analizamos tres brechas explicativas recurrentes: (i) el contexto del cambio de uso del suelo, (ii) el desafío micro–macro y (iii) el potencial de predicción. Al interconectar supuestos desarrollados en la psicología, las ciencias sociales y la ciencia geoespacial, el artículo aclara problemas explicativos transversales, más que evaluar modelos específicos, y concluye con una discusión sobre enfoques de investigación con potencial para abordar estas brechas explicativas y fortalecer la investigación futura sobre el cambio de uso del suelo.

METODOLOGÍA

Diseño de la investigación

Este estudio adopta un análisis conceptual comparativo cualitativo para examinar cómo distintas tradiciones disciplinarias explican el cambio de uso del suelo. La uni-

dad de análisis son los documentos científicos, artículos, capítulos de libro y libros, que abordan el cambio de uso del suelo desde distintas disciplinas. Los marcos teóricos, los supuestos explicativos y los conceptos empleados en dichos documentos constituyen la dimensión comparativa del análisis. En lugar de evaluar la capacidad de predicción de modelos específicos o realizar una revisión sistemática de la literatura, el objetivo es contrastar estos supuestos y marcos conceptuales para identificar cómo han configurado la investigación sobre el uso del suelo en distintas disciplinas y qué desafíos explicativos recurrentes surgen al integrar estas perspectivas complementarias.

Este enfoque metodológico fue seleccionado porque permite examinar y contrastar supuestos explicativos entre disciplinas que operan a diferentes niveles de análisis y con tradiciones epistemológicas distintas, lo que favorece la identificación de limitaciones compartidas y de oportunidades de integración teórica. En este sentido, el diseño responde a una lógica interpretativa orientada a comprender cómo distintas disciplinas construyen explicaciones del cambio de uso del suelo, más que a evaluar empíricamente relaciones causales o medir la capacidad predictiva de modelos particulares.

Selección de la literatura

El análisis se basa en 71 documentos, artículos científicos, capítulos de libros y libros, publicados entre 1980 y 2022⁵, provenientes de disciplinas que han influido

⁵ La revisión documental se inició a principios de 2024 y culminó en 2025; por ello, no se incorporaron publicaciones posteriores a 2025. Esta delimitación permitió trabajar con un corpus consolidado y analizar la evolución histórica de los enfoques teóricos, sus fundamentos y transformaciones conceptuales dentro del campo de estudio.

sustancialmente en la investigación sobre el uso del suelo, como la ciencia del cambio del suelo (Land Change Science, LCS), la ciencia de los sistemas de uso del suelo (Land System Science, LSS), la geografía, la ecología, la economía, la sociología, la psicología, la teoría institucional, los estudios indígenas y la filosofía de la ciencia. El periodo de 1980 a 2022 corresponde al tiempo en el que se consolidó institucional y conceptualmente el campo de estudio del cambio de uso y la cobertura del suelo, tal como se sintetiza en la Figura 1; los documentos incluidos fueron seleccionados, en parte, por representar hitos y avances metodológicos-conceptuales de esa trayectoria histórica.

La literatura fue seleccionada en función de su relevancia para explicar el cambio de uso del suelo, su influencia en el campo y su contribución a los debates sobre el comportamiento humano, el contexto, la escala, la modelización y la predicción. Los criterios de inclusión consideraron: (a) relevancia conceptual directa para explicar el cambio de uso del suelo; (b) reconocimiento académico o influencia documentada en el campo; (c) representatividad disciplinaria, priorizando la amplitud de tradiciones teóricas por sobre la exhaustividad dentro de cada una; y (d) pertinencia para al menos una de las tres brechas explicativas identificadas (contexto, desafío micro-macro, potencial de predicción).

La identificación de fuentes se realizó mediante una estrategia de búsqueda dirigida y una selección intencional, fundamentada en la experticia disciplinaria complementaria de los autores. Esta estrategia combinó búsquedas exploratorias en bases de datos académicas relevantes como *Web of Science*, *Scopus* y *ScienceDirect*, complementadas con la revisión de referencias cruzadas y la selección intencional de literatura considerada fundacional o relevante en cada tradición disciplinaria. Las búsquedas combinaron términos relacionados con cam-

bio de uso del suelo, cambio en la cobertura del suelo, toma de decisiones, modelización, sistemas socioecológicos, contexto, escala, predicción, conocimiento indígena y modelización participativa en el contexto de uso del suelo. Aunque el propósito del estudio no fue alcanzar la exhaustividad bibliográfica, se buscó asegurar la amplitud disciplinaria y la diversidad de enfoques teóricos. Por ello, la selección combinó literatura ampliamente citada en el campo con contribuciones conceptualmente relevantes a las tres brechas explicativas identificadas. Reconocemos que esta estrategia, al no seguir un protocolo de búsqueda sistemática con cadenas booleanas fijas ni criterios de cribado totalmente reproducibles (p. ej., PRISMA), presenta una menor replicabilidad estricta; no obstante, la trazabilidad del corpus analizado se garantiza mediante la lista completa de referencias y su clasificación por tradición disciplinaria y contribución principal (Anexo 1), lo que permite a otros investigadores examinar y contrastar la base documental del análisis. Esta decisión responde al objetivo del estudio, sintetizar desafíos explicativos transversales entre disciplinas complementarias, y no mapear exhaustivamente cada tradición disciplinaria. Esta limitación se retoma en la sección de discusión.

Enfoque analítico

La síntesis conceptual comparativa se sustentó en el conocimiento de los autores sobre el estado del arte de las disciplinas revisadas, aplicado a la etapa de contraste entre las distintas tradiciones teóricas. El análisis se desarrolló mediante la lectura comparativa de la literatura seleccionada, a partir de la cual se identificaron de manera conjunta y holística, las principales contribuciones de cada tradición disciplinaria, así como los supuestos

explicativos recurrentes y los desafíos conceptuales que emergen de su contraste. Para reducir el riesgo de sesgos interpretativos, el proceso incluyó discusión iterativa entre autores, contraste cruzado de interpretaciones y revisión crítica de las categorías emergentes.

Más que elaborar un inventario exhaustivo de publicaciones, el análisis se orientó a una lectura comparativa de la literatura y a la construcción progresiva de categorías analíticas mediante la deliberación entre los autores, sin aplicar un procedimiento formal de codificación cualitativa.

Las tres brechas explicativas presentadas en este artículo son (i) el contexto del cambio de uso del suelo, (ii) el desafío micro-macro y (iii) el potencial de predicción. Estas emergieron mediante un proceso iterativo de reflexión crítica, comparación entre perspectivas teóricas y deliberación entre autores, hasta alcanzar consistencia interpretativa respecto de los patrones explicativos identificados entre disciplinas. Estas brechas fueron seleccionadas porque aparecieron de manera recurrente en tradiciones disciplinarias distintas y porque articulan tres problemas transversales para explicar el cambio de uso del suelo: la delimitación del contexto, la relación entre decisiones individuales y patrones agregados, y la conexión entre explicación y predicción. La síntesis resultante no busca evaluar disciplinas individuales ni enfoques específicos de modelización. En cambio, identifica desafíos explicativos persistentes a pesar de los avances sustanciales en la investigación sobre el uso del suelo y analiza oportunidades para fortalecer la investigación interdisciplinaria futura y la modelización del uso del suelo.

Finalmente, cabe aclarar que este análisis no pretende generar inferencias causales ni validar empíricamente hipótesis específicas. Sus resultados dependen de la selección e interpretación de la literatura representativa y deben entenderse como una propuesta analítica orien-

tada a fortalecer futuras agendas de investigación interdisciplinaria y el desarrollo de marcos explicativos más integradores. Asimismo, el análisis presenta la limitación de considerar únicamente la literatura publicada en inglés, lo que ofrece principalmente una perspectiva del Norte Global sobre estas temáticas. En consecuencia, futuras investigaciones podrían ampliar este enfoque mediante la incorporación de literatura en español, a fin de integrar perspectivas provenientes de otros contextos geográficos y enriquecer la comprensión del fenómeno.

Antecedentes: la evolución de la investigación sobre el cambio de uso del suelo

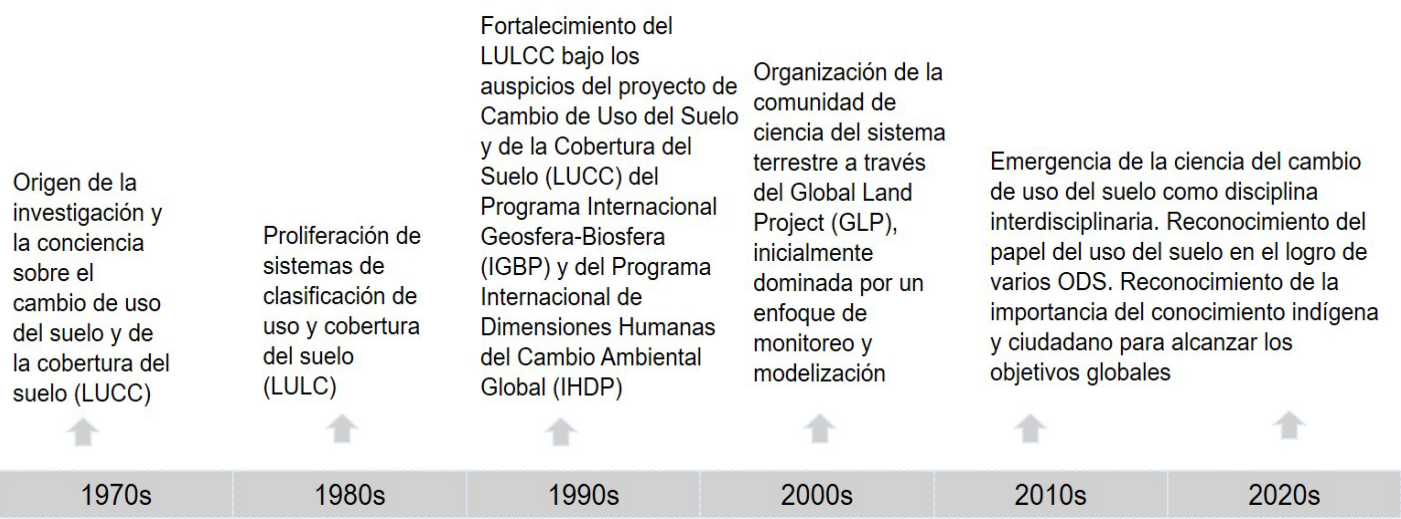
Orígenes y consolidación institucional del campo

La investigación sobre el cambio de uso y la cobertura del suelo (*Land-Use and Land-Cover Change*, LULCC) tuvo sus orígenes en la década de 1970, cuando comenzaron a reconocerse las transformaciones del uso del suelo y sus impactos a escalas local y global (Turner, 1997; Lambin et al., 2006). Los sistemas globales de clasificación del uso y la cobertura del suelo se han desarrollado desde la década de 1980 (Nedd et al., 2021). Por su parte, la investigación sobre el cambio de uso y la cobertura del suelo se consolidó institucionalmente mediante proyectos internacionales como el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (*International Geosphere-Biosphere Programme*, IGBP) y el Programa Internacional sobre las Dimensiones Humanas del Cambio Ambiental Global (*International Human Dimensions Programme on*

Global Environmental Change, IHDP) (Lambin y Geist, 2006). Posteriormente, la comunidad de la ciencia de los sistemas de uso del suelo se organizó en torno al Proyecto Global del Suelo (*Global Land Project*, GLP), iniciado en 2006 (Verburg et al., 2015). En las últimas décadas, la ciencia del cambio del suelo (*LCS*) ha surgido como un campo de investigación interdisciplinario independiente, que involucra a científicos de las ciencias sociales, económicas, geográficas, filosóficas y naturales y que busca

abordar teorías, conceptos y modelos para comprender las dinámicas del cambio en la cobertura y el uso del suelo en un entorno inter- y transdisciplinario (Rindfuss et al., 2004; Turner et al., 2007; Verburg et al., 2015). Esta trayectoria, desde el reconocimiento inicial del fenómeno hasta la consolidación de la ciencia del cambio terrestre como campo interdisciplinario, se sintetiza en la Figura 1.

Figura 1. Desarrollo de la investigación sobre cambio de uso y la cobertura del suelo



Fuente: Elaborado por los autores, basado en la síntesis de la literatura (Anexo 1)

A medida que el campo se consolidaba, la modelización del uso del suelo se desarrolló a partir de dos tradiciones diferenciadas.

Modelización de uso del suelo

La modelización del uso del suelo se ha desarrollado a partir de contribuciones tanto de las ciencias naturales como de las ciencias sociales. Los modelos que se basan principalmente en enfoques de las ciencias naturales se han concentrado en representar las dinámicas de la cobertura del suelo y los patrones espaciales a macroescala, representados espacialmente mediante teledetección (*remote sensing*) y sistemas de información geográfica en el marco de enfoques de modelización, a menudo vinculando las macropropiedades de la organización social con los patrones del paisaje observados (Verburg et al., 2004). En paralelo, muchos modelos con raíces en las ciencias sociales se basan predominantemente en supuestos heredados de la economía, en particular, la maximización de la utilidad y la elección racional, para explicar las decisiones sobre el uso del suelo (Malek et al., 2019; Schill et al., 2019). Estos modelos han contribuido a la síntesis de resultados y a la estructuración de la discusión con actores sociales involucrados; sin embargo, siguen representando de manera insuficiente explicaciones clave de las dinámicas de los sistemas de uso del suelo que son bien conocidas a partir de estudios cualitativos (Verburg et al., 2019). Si bien las imágenes satelitales proporcionan datos valiosos para detectar cambios en la superficie terrestre, los factores impulsores de estos cambios aún deben identificarse y validarse con información adicional basada, por ejemplo, en datos *in situ*, datos históricos o conocimiento experto (Gomes et al., 2020). Esta limitación de los enfoques centrados en variables económicas y biofísicas ha impulsado

un creciente reconocimiento de los factores culturales-cognitivos en las decisiones de uso del suelo.

Factores culturales-cognitivos

Se ha reconocido que numerosos factores culturales-cognitivos influyen en la toma de decisiones en torno al uso del suelo, tales como actitudes, valores, creencias, percepciones individuales y memoria socioecológica (*social-ecological memory*) (Lambin et al., 2003; Plieninger et al., 2016; Rueda et al., 2019; Stoll-Kleemann, 2015; Coral et al., 2020). Una revisión de 137 estudios de caso sobre los factores impulsores subyacentes del cambio de uso agrícola del suelo destaca el papel de las decisiones de los agricultores en el cambio de uso del suelo (van Vliet et al., 2015). Meyfroidt (2013) analiza teorías relevantes sobre la cognición ambiental (*environmental cognition*) y formula tres proposiciones sobre cómo pueden avanzar los estudios empíricos y de modelización en la ciencia del cambio terrestre. Estas proposiciones plantean que las elecciones de uso del suelo resultan de múltiples procesos de toma de decisiones sustentados en diversos motivos, influenciados por normas sociales, emociones, creencias y valores relacionados con el ambiente; y que las retroalimentaciones socioecológicas están mediadas por cogniciones ambientales, es decir, por procesos de significación, percepción, interpretación y evaluación del cambio ambiental, así como por la toma de decisiones (Meyfroidt, 2013).

Asimismo, los agentes humanos conservan y transmiten sus creencias, valores y conocimientos para adaptarse a un nuevo conjunto de condiciones culturales y ambientales (Barthel et al., 2010; Coral et al., 2020; Skaloš y Kašparová, 2012). Por ejemplo, los pueblos indígenas y sus interconexiones espirituales y culturales con la tierra constituyen una de las formas más antiguas de custodia

del territorio, cuya sostenibilidad es cada vez más respaldada por la evidencia científica (Willemen et al., 2020). Además, una parte significativa de la biodiversidad mundial se encuentra en territorios habitados, gestionados o custodiados por pueblos indígenas; no obstante, históricamente, el conocimiento indígena ha sido en gran medida pasado por alto en el discurso climático y en informes de evaluación global, incluidos aquellos vinculados con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Redvers et al., 2022).

Sin embargo, factores como la tenencia de la tierra, los vínculos culturales de las comunidades indígenas con la tierra, los usos tradicionales del suelo y fenómenos sociales como la corrupción son particularmente difíciles de representar en marcos de modelización econométrica (Piquer-Rodríguez et al., 2018). Las metodologías y técnicas de las ciencias sociales, como la teoría fundamentada, el análisis narrativo y el análisis de entrevistas de historia de vida, podrían facilitar la comprensión de los procesos culturales-cognitivos, así como de la forma en que los individuos, las comunidades y los pueblos indígenas se relacionan con su ambiente (Maines y Bridger, 1992; Rasmussen, 2005; van der Does y Arce, 1998; Coral et al., 2020). La incorporación de estos factores plantea, además, una dificultad metodológica de fondo: cómo conectar las decisiones individuales con los patrones agregados que emergen de ellas.

La modelización basada en variables y sus límites explicativos

Los cambios individuales y generacionales están asociados con cambios de uso del suelo; a medida que las for-

mas de comprender y valorar el territorio se transforman con el tiempo, también pueden surgir reformas, innovaciones, nuevas prácticas y nuevas tendencias (Coral et al., 2020). Por lo tanto, se necesita más investigación para comprender cómo los factores culturales-cognitivos influyen en el uso del suelo. Como observó Bryant (1998), una tarea central de la investigación es comprender cómo se constituye el ambiente mediante disputas tanto por las prácticas materiales que transforman el territorio como por los significados a través de los cuales distintos actores interpretan y valoran esas transformaciones. Asimismo, los cambios suelen ocurrir de forma interrelacionada y simultánea, lo que pone de manifiesto la necesidad de un enfoque integrado para abordar el cambio ambiental (Iwamura et al., 2016). Sin embargo, los investigadores han señalado dificultades para conectar teorías y metodologías capaces de interconectar los niveles micro y macro (Verburg et al., 2004).

Los investigadores de las ciencias sociales tienen una larga tradición en el estudio del comportamiento individual, a menudo basada en supuestos de maximización de la utilidad, pero con frecuencia enfrentan dificultades para identificar propiedades emergentes visibles en niveles superiores y aspectos “no racionales” de la toma de decisiones (Schill et al., 2019). En particular, los modelos económicos estándar, incluida una parte importante de la economía ambiental y de los recursos naturales, tienden a representar el comportamiento humano mediante supuestos simplificados, lo que puede limitar la incorporación de dimensiones sociales, cognitivas y contextuales de la toma de decisiones (Schill et al., 2019). En el contexto del cambio de uso del suelo, estas limitaciones pueden traducirse en la omisión de dinámicas sociocognitivas que influyen en las decisiones de los actores y que trascienden los incentivos económicos, como la difusión, la anticipación y el aprendizaje. Esta omisión puede

generar un sesgo hacia la representación de cambios de uso del suelo como respuestas inmediatas y directas a estímulos económicos, en lugar de procesos que se desarrollan gradualmente a través de trayectorias temporales más prolongadas, limitando la comprensión de las respuestas asociadas a estímulos sociales o ambientales (Brown et al., 2017). Como consecuencia, algunos modelos pueden producir proyecciones relativamente homogéneas y temporalmente discretas, con una representación limitada de la diversidad y complejidad de la toma de decisiones humana (Brown et al., 2017; Titeux et al., 2017).

De manera similar, una revisión de metaestudios sobre la ciencia del uso del suelo revela que se centran principalmente en la biodiversidad y los ciclos biogeoquímicos (van Vliet et al., 2015). En contraste, los metaestudios sobre las consecuencias socioeconómicas son relativamente escasos, ya que los impactos sociales, culturales y económicos del cambio de uso del suelo y la interacción entre los actores y su ambiente suelen perderse en los procesos de generalización y codificación (van Vliet et al., 2015). En consecuencia, se ha señalado que la comunidad de investigación sobre el cambio global tiende a producir una narrativa del Antropoceno dominada por las ciencias naturales y centrada en el cambio ambiental más que en el cambio social (Lövbrand et al., 2015).

Este debate sobre las explicaciones apropiadas del cambio ha sido constante en las ciencias sociales. Por ejemplo, Coleman (1986), observó que la asociación estadística entre variables ha reemplazado en gran medida a las conexiones significativas entre eventos como herramienta básica de descripción y análisis. Abbott (1992), citado en Hedström y Swedberg (1998), también observó que, en la tradición de modelización causal (*causal-modeling tradition*), “son las variables, y no los actores las que actúan”. Lazer et al. (2021) subrayan la necesidad

de reflexionar sobre el impacto de las mediciones en las actitudes y el comportamiento, dado que la inestabilidad de las reglas que gobiernan la sociedad humana se ve exacerbada por los propios sistemas sociotécnicos que recopilan datos sobre las personas. En conjunto, estas contribuciones sugieren que explicar el cambio de uso del suelo requiere ir más allá de la identificación de asociaciones entre variables y considerar cómo los actores, las mediciones, los contextos institucionales y los sistemas sociotécnicos contribuyen a la configuración del cambio observado. Estas tensiones se agudizan a medida que la creciente disponibilidad de datos convive con objetivos y valores que los datos por sí solos no capturan.

Datos, valores y preguntas fundamentales del uso del suelo

Cada vez más, la información técnica impulsada por la ciencia (*science-driven technical information*) se enfrenta a objetivos impulsados por valores (*value-driven objectives*) de la población local. Esta tensión se vuelve especialmente relevante cuando los modelos incorporan supuestos explícitos sobre variables exógenas que actúan como importantes impulsores del cambio en los sistemas agrícolas, como las condiciones de mercado (Sterk et al., 2006). Sterk et al. (2006) sostienen que una cuestión crucial relacionada con el impacto de un modelo determinado radica en el proceso de “reencuadre” (*reframing*), definido como el reconocimiento de los problemas, intereses y modelos mentales de las personas involucradas, más que en cualquier indicador ambiental *per se*.

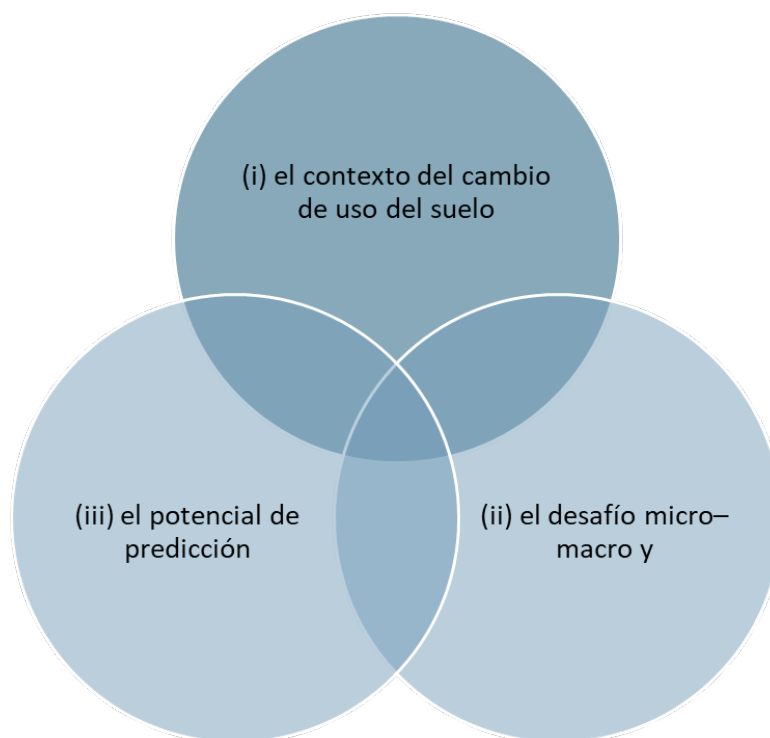
Desde 1972, se adquieren de manera rutinaria datos de alta calidad, que se procesan en una gama cada vez más amplia de productos digitales utilizados para medir y monitorear los recursos de la Tierra (Morain, 1998).

A medida que los grandes conjuntos de datos socioeconómicos y derivados de la teledetección se vuelven más ampliamente disponibles mediante iniciativas de acceso abierto, y conforme avanzan la ciencia y la tecnología, este artículo subraya la importancia de mantener el foco en preguntas más fundamentales sobre el uso del suelo y sus dimensiones humanas asociadas. En este contexto, comprender cómo distintas tradiciones disciplinarias explican el cambio de uso del suelo se vuelve esencial para identificar los desafíos conceptuales que continúan limitando la integración teórica; desafíos que este artículo sintetiza en tres brechas explicativas presentadas a continuación.

RESULTADOS

El análisis conceptual comparativo cualitativo identificó tres brechas explicativas recurrentes entre las tradiciones disciplinarias revisadas. Estas brechas no representan deficiencias de las disciplinas individuales; más bien, reflejan desafíos persistentes que surgen al integrar perspectivas complementarias para explicar el cambio de uso del suelo. Con base en este análisis, sintetizamos tres brechas explicativas relacionadas con: (i) el contexto del cambio de uso del suelo, (ii) el desafío micro-macro y (iii) el potencial de predicción (Figura 2). Las siguientes secciones presentan cada brecha explicativa y discuten sus implicaciones para la investigación sobre el uso del suelo.

Figura 2. Brechas explicativas relacionadas para explicar el cambio de uso del suelo



Brecha explicativa 1: el “contexto” del cambio de uso del suelo

El cambio de uso del suelo se entiende ampliamente como el resultado directo de decisiones humanas, influenciadas por una variedad de factores impulsores y procesos socioeconómicos y biofísicos específicos del contexto (*context-specific socio-economic and biophysical drivers and processes*) (Malek et al., 2019). Sin embargo, el contexto en el que ocurre el cambio de uso del suelo suele considerarse un conjunto de condiciones iniciales o factores predisponentes (*predisposing factors*) (Geist et al., 2006). En esta sección, argumentamos que el contexto no debe considerarse meramente una condición de fondo, sino un elemento constitutivo del cambio de uso del suelo.

Por ejemplo, factores ambientales predisponentes, como las características biofísicas del suelo (calidad del suelo, topografía) y los peligros naturales (sequías, inundaciones, deslizamientos de tierra), así como aspectos sociales (necesidades básicas o conflictos), pueden condicionar procesos que inciden en la deforestación (Geist y Lambin, 2002). Este punto también se ilustra en el marco ampliamente aplicado de los vínculos entre las actividades humanas y el uso y la cobertura del suelo desarrollado por Ojima et al. (1994), donde las fuerzas impulsoras (*driving forces*) se incorporan en una categoría de contexto social. Sin embargo, la investigación ha demostrado que la creciente demanda de una materia prima, por ejemplo, la soya proveniente de China, puede ser una variable lenta clave (*key slow variable*) y, al mismo tiempo, ser considerada exógena al sistema, dependiendo de cómo se definan los límites del sistema (Ramankutty y Coomes, 2016).

No obstante, Clarke (2005) cuestiona la idea de tratar el contexto como un entorno externo a la acción. Al sostener que “no existe tal cosa como el contexto”, la autora enfatiza que los elementos condicionales de una situación deben especificarse en el análisis de la situación misma; por lo tanto, son constitutivos de ella, y no elementos que simplemente la rodean, la enmarcan o contribuyen a ella. Coral et al. (2020) muestran que los llamados factores contextuales pueden afectar las decisiones de uso del suelo a nivel individual o familiar, que constituye un nivel clave para comprender la interacción dinámica entre actores humanos y medio ambiente. A través del aprendizaje experiencial y la interacción, los individuos y las comunidades tienen la capacidad de generar procesos de cambio, por ejemplo, procesos de reforestación y deforestación. Esto sugiere que algunas de las llamadas condiciones contextuales no son meramente condiciones de fondo, sino que son constitutivas del propio cambio de uso del suelo (Coral et al., 2020). A modo de ilustración, en Ecuador, en los Andes noroccidentales, el descontento social combinado con el deseo de poseer tierra y la posibilidad de prosperar mediante su tenencia, motivaron a antiguos trabajadores de haciendas a ocupar “tierras baldías” en la década de 1950. Este descontento surgió de las duras condiciones de vida y de trabajo en las llamadas haciendas, regidas por instituciones coloniales: formas de producción hacendaria de carácter feudal. Además, el fortalecimiento de los movimientos indígenas y campesinos ecuatorianos, los intentos de los terratenientes por modernizar sus emprendimientos agrícolas y la influencia política de la Revolución cubana contribuyeron a que el gobierno ecuatoriano considerara una reforma agraria integral en las décadas de 1960 y 1970 (Coral et al., 2021).

Otro tema esencial que debe reconsiderarse es la división artificial entre factores institucionales y factores

culturales. Los factores institucionales y los factores culturales suelen describirse como dos fuerzas impulsoras subyacentes distintas del declive forestal (Geist y Lambin, 2002; Plieninger et al., 2016). La cultura, las cosmovisiones y las ideologías desempeñan un papel esencial en la explicación del cambio institucional en contextos de uso del suelo. Algunas reglas no son simplemente sistemas regulatorios, sino también marcos culturales-cognitivos que definen la naturaleza, los intereses y los derechos de los actores (Dacin et al., 2002). Ferguson y Weaselboy (2020) muestran que, en muchas sociedades indígenas, la tierra no se entiende únicamente como un espacio físico delimitado, sino como un espacio culturalmente significativo que articula relaciones entre seres humanos, no humanos, vivos y ancestros.

Desde un punto de vista institucional, Roland (2008) observa que aquello que a menudo se denomina “cultura”, incluidos los valores, creencias y normas sociales, puede clasificarse como una institución de cambio lento (*slow-moving institution*). De manera similar, la investigación sobre sistemas socioecológicos explora cómo las instituciones formales e informales configuran las interacciones socioecológicas y, a su vez, son configuradas por ellas (véase Ostrom, 1990, 2009). Las metodologías de las ciencias sociales, como la teoría fundamentada y el análisis narrativo, podrían contribuir a identificar qué condiciones operan de manera estructural, es decir, cuáles favorecen cambios en el contexto y ajustes en la interacción humana.

El papel de las condiciones contextuales requiere mayor investigación, en particular para comprender mejor cómo los factores culturales, las instituciones y la agencia humana interactúan para dar forma al cambio de uso del suelo. En conjunto, este análisis sugiere que las condiciones contextuales no deberían tratarse meramente como variables de fondo, sino como componentes

constitutivos del cambio de uso del suelo que moldean la toma de decisiones humanas, las dinámicas institucionales y los resultados ambientales en múltiples escalas espaciales y temporales.

Brecha explicativa 2: el desafío “micro-macro”

En el campo de investigación de la modelización del uso del suelo, la creciente conciencia sobre las dependencias de escala (scale dependencies) y los problemas de escalamiento ascendente (upscaling problems) ha llevado a los modeladores del uso del suelo a desarrollar enfoques para abordar múltiples escalas (Malek y Verburg, 2020; Verburg et al., 2004). En particular, comprender cómo los patrones de toma de decisiones a escala local contribuyen a explicar el cambio de uso del suelo a escalas más amplias sigue siendo un desafío importante de investigación (Verburg et al., 2004).

Otro desafío en la modelización del uso del suelo es cuantificar las interacciones entre procesos que operan a diferentes escalas. La estadística multinivel ofrece una vía inicial para abordar este problema, aunque aún se requieren desarrollos metodológicos adicionales. A pesar de los estudios que evidencian la diversidad en la toma de decisiones, estos conocimientos aún no se reflejan plenamente en la mayoría de las evaluaciones globales ni en los modelos de uso del suelo. Estos suelen asumir modos relativamente uniformes de toma de decisiones que no capturan adecuadamente la diversidad empírica observada (Malek y Verburg, 2020; Titeux et al., 2017), y con frecuencia, incorporan alguna forma de racionalidad económica como base de las decisiones de manejo del uso del suelo (Brown et al., 2017).

La distinción entre los niveles macro y micro suele ser artificial, ya que las relaciones entre los seres humanos y el medio ambiente constituyen procesos dinámicos y entrelazados; el desafío radica, más bien, en determinar cómo analizarlas a lo largo de distintos niveles. A menudo, la elección de una escala determinada en los modelos de uso del suelo se basa en razones arbitrarias o subjetivas, o en la tradición científica (Verburg et al., 2004). Sin embargo, se ha observado que los procesos a nivel local están integrados en procesos globales y se manifiestan simultáneamente en varios niveles (Coral et al., 2020). Otras perspectivas muestran que la mayoría de las situaciones, procesos sociales, son una combinación de condiciones micro vinculadas al individuo y condiciones macro que trascienden al individuo, por ejemplo, condiciones históricas, sociales y políticas, que interactúan entre sí (Corbin y Strauss, 2015).

En el campo de la sociología, el modelo macro-micro-macro de Coleman (1986) ofrece una forma de conceptualizar la acción social y explicar el cambio y la variación a nivel macro. Este modelo muestra cómo los estados macro (macro-states) en un momento determinado influyen en el comportamiento de los actores individuales y cómo estas acciones se combinan para producir nuevos estados macro en un momento posterior. Las entidades o eventos a nivel macro están vinculados entre sí mediante combinaciones de mecanismos situacionales, de acción individual y transformacionales (Hedström y Swedberg, 1998). De manera similar, investigaciones recientes en sistemas socioecológicos han enfatizado que los fenómenos emergentes surgen de interacciones entre niveles organizativos y, por lo tanto, requieren enfoques analíticos capaces de representar explícitamente las dinámicas transescalares (Schlüter et al., 2019).

En décadas recientes, la búsqueda de significado social a partir del “píxel” de las imágenes espaciales (*geo-*

graphic imagery pixel) ha dado lugar a diversos enfoques para comprender las causas y estructuras subyacentes que configuran la toma de decisiones sobre el uso del suelo y el cambio ambiental (Geoghegan et al., 1998). Esta agenda de investigación ha seguido evolucionando mediante esfuerzos recientes para integrar la observación de la Tierra (*Earth observation*) con datos sociales, enfoques participativos y colaboración interdisciplinaria, fortaleciendo aún más los vínculos entre la información obtenida mediante teledetección y las dimensiones humanas del cambio de uso del suelo (Kugler et al., 2019; Tellman et al., 2020). Por ejemplo, se han utilizado enfoques que abarcan desde los píxeles hasta los paisajes para analizar las respuestas de la biodiversidad a los paisajes cambiantes y la provisión de servicios ecosistémicos (Bürgi et al., 2022).

Los hallazgos de Santos et al. (2019) subrayan la importancia de reducir la escala analítica (*downscaling*) de los problemas globales a la escala local y de evaluar los factores impulsores individuales del cambio de uso del suelo en sistemas socioecológicos acoplados (*coupled socioecological systems*). Para este propósito, concluyen que se necesita experiencia interdisciplinaria e intercambio transdisciplinario para fomentar una mejor comprensión de los sistemas socioecológicos acoplados desde las escalas locales hasta las globales (Santos et al., 2019). Asimismo, trabajos recientes han demostrado enfoques prácticos para formalizar teorías de la toma de decisiones humana en modelos basados en agentes (*agent-based models*), al tiempo que destacan los desafíos persistentes asociados con la representación de la complejidad conductual (*behavioural complexity*) y las influencias contextuales (Schwarz et al., 2020). Sin embargo, para abordar la llamada brecha micro-macro e integrar el cambio de uso del suelo en modelos multiescalares, es necesario identificar qué aspectos del manejo del uso del suelo y de las políticas siguen insuficientemente representados en los modelos

actualmente disponibles. Esto requerirá una mayor adquisición de datos, así como métodos y esfuerzos interdisciplinarios adicionales de modelización (Titeux et al., 2017). En conjunto, este análisis destaca que explicar el cambio de uso del suelo requiere una integración más sólida de la diversidad conductual entre distintas escalas analíticas, vinculando la toma de decisiones individual con las dinámicas emergentes a nivel del sistema, en lugar de tratarlas como dominios explicativos separados.

Brecha explicativa 3: potencial de “predicción”

Los modelos de uso del suelo se han utilizado para describir, simular, predecir y orientar la toma de decisiones en el estudio de cambios de uso del suelo (De Rosa et al., 2016; Veldkamp y Lambin, 2001; Verburg et al., 2004). Algunos modelos también han sido utilizados no solo para pronosticar (*forecasting*), sino también para orientar decisiones e influir indirectamente en el comportamiento de los actores involucrados (Pereira et al., 2003). En otras palabras, la modelización del uso del suelo suele dividirse en enfoques de reconstrucción retrospectiva de dinámicas históricas y modelización de escenarios futuros (Prestele et al., 2017). Sin embargo, predecir con precisión los patrones futuros de uso del suelo sigue siendo sumamente desafiante debido a la complejidad de las dinámicas socioecológicas (Mallampalli et al., 2016). Muchos cambios de régimen de uso del suelo son impulsados por los llamados eventos externos o exógenos, por ejemplo, cambios de política pública, choques de precios o conflictos armados, los cuales son difíciles de anticipar. No obstante, una comprensión más profunda de los cambios de régimen de uso del suelo puede contribuir a

anticipar el cambio futuro de uso del suelo (Ramankutty y Coomes, 2016). Otro problema señalado en la literatura es que, en la práctica, la distinción entre explicación y predicción suele ser difusa. En este sentido, evaluar las explicaciones por su capacidad para generar predicciones permite someterlas a una prueba más exigente y puede revelar que su poder explicativo es más limitado de lo que inicialmente se suponía (Hofman et al., 2021). Las explicaciones del cambio informadas por teorías de las ciencias sociales desempeñan un papel clave en la modelización, ya sea como fuente de supuestos, por ejemplo, variables contextuales relevantes o como punto de referencia para contrastar dichos supuestos.

A pesar de la complejidad de los sistemas humano-ambientales, una mejor comprensión de las dinámicas del sistema puede apoyar una toma de decisiones más informada y robusta mediante la integración de múltiples fuentes de conocimiento, incluidas la teledetección, los datos censales y de encuestas de hogares, y las narrativas que reflejan la memoria colectiva y la cultura política. El análisis del proceso y del contexto del uso del suelo puede aportar conocimiento sobre lo que debe evitarse y lo que debe preservarse a partir de decisiones y ciclos pasados (Coral et al., 2020). Desde una perspectiva sistémica, identificar los factores estructurales que impulsan el cambio podría revelar patrones explicativos y predictivos. Sin embargo, persisten preguntas abiertas sobre cómo se originan estos factores estructurales observables, por qué algunas diferencias resultan más relevantes que otras y cómo ciertos patrones de variación se reproducen de manera preferencial. Como señalaron Holling et al. (2001), la complejidad de los sistemas vivos de personas y naturaleza no emerge de una asociación aleatoria de numerosos factores interactuantes, sino de un número reducido de procesos controladores. Estos procesos críticos crean y mantienen la autoorganización (*self-organization*) del sistema.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que mejorar la capacidad de predicción de la investigación sobre el uso del suelo depende no solo de los avances en las técnicas de modelización, sino también del fortalecimiento de los fundamentos explicativos sobre los que se construyen las predicciones.

DISCUSIÓN

El análisis conceptual comparativo cualitativo identificó tres brechas explicativas recurrentes relacionadas con la representación del contexto, el desafío micro–macro y el potencial de predicción. En conjunto, estos hallazgos sugieren que, a pesar de los avances sustanciales en la ciencia de los sistemas de uso del suelo (*LSS*), la observación de la Tierra (*Earth observation*), la investigación en sistemas socioecológicos y la modelización participativa, persisten desafíos importantes para lograr una integración efectiva de perspectivas disciplinarias complementarias orientadas a explicar el cambio de uso del suelo. Más que señalar limitaciones de disciplinas individuales, las brechas identificadas muestran que mejorar las explicaciones del cambio de uso del suelo depende tanto de la integración de perspectivas teóricas complementarias como de los avances en la disponibilidad de datos y en las técnicas de modelización. En este sentido, las brechas identificadas señalan oportunidades para fortalecer la integración teórica y mejorar futuras investigaciones y modelos sobre el uso del suelo.

Los modelos y marcos existentes han aportado conocimientos valiosos y mejorado significativamente la comprensión de los procesos y dinámicas asociados al cambio de uso del suelo. Aun así, se requiere más investigación para incorporar procesos de largo plazo desde una

perspectiva histórica, sin perder de vista los vínculos con los actores sociales cuyas decisiones han configurado históricamente, y que, a su vez, han sido configurados por estos procesos de cambio de uso del suelo.

El programa de Cambio de Uso y la Cobertura del Suelo (LUCC) destacó que mejorar los modelos de cambio de uso del suelo requiere una mejor integración de datos de las ciencias sociales, incluida la toma de decisiones de los agentes, con los factores impulsores biofísicos, así como una representación más adecuada de desfases temporales (*time lags*) y umbrales (*thresholds*), junto con la integración de datos de múltiples fuentes (Lambin y Geist, 2006).

La teledetección constituye una herramienta sobresaliente para cuantificar el cambio de uso y la cobertura del suelo, pero requiere información socioeconómica adicional, por ejemplo, datos censales y encuestas de hogares, así como explicaciones contextualizadas y empíricamente fundamentadas del comportamiento humano, derivadas de narrativas, enfoques sistémicos y basados en agentes, análisis de redes o cartografía participativa, entre otros (Iwamura et al., 2016; Muro et al., 2020). En este contexto, la discusión teórica sobre “socializar el píxel” y “pixelizar lo social” (*socializing the pixel* and *pixelizing the social*) (Geoghegan et al., 1998) ha continuado desarrollándose mediante enfoques que buscan vincular explícitamente unidades espaciales derivadas de la observación con procesos sociales subyacentes, mediante la integración de datos de observación de la Tierra con información social y enfoques participativos (Kugler et al., 2019; Tellman et al., 2020).

Además, la modelización participativa ha tenido numerosas aplicaciones recientes que han favorecido procesos de aprendizaje conjunto entre científicos y actores sociales involucrados (Verburg et al., 2019; Muro et al., 2020). Junto con avances recientes en la investigación so-

bre sistemas socioecológicos, que han mejorado la representación de dinámicas emergentes y de la complejidad conductual en sistemas acoplados humano-ambientales (*coupled human-environment systems*) (Schlüter et al., 2019; Schwarz et al., 2020), estos desarrollos ilustran el progreso sustancial que la ciencia de los sistemas de uso del suelo (*LSS*) ha logrado en la integración de procesos sociales y ambientales entre distintas escalas.

No obstante, pese a estos avances considerables, nuestro análisis indica que persisten desafíos explicativos relevantes relacionados con la representación del contexto, la diversidad conductual y las interacciones entre escalas. En la medida en que los modelos incorporen de manera más adecuada las diversas formas en que las personas gestionan, usan e interactúan con los ecosistemas, será más factible utilizar sus resultados para anticipar los efectos de las actividades humanas sobre la biodiversidad (Titeux et al., 2017).

Durante las últimas décadas, la ciencia del cambio del suelo (*LCS*) y la ciencia de los sistemas de uso del suelo (*LSS*) han enfatizado crecientemente la recopilación de información sobre el uso del suelo y las evaluaciones interdisciplinarias, incluida la información cualitativa y los métodos etnográficos para capturar transformaciones complejas del uso del suelo, así como factores psicológicos que influyen en las decisiones de uso del suelo (Friis y Nielsen, 2017; Rueda et al., 2019; Coral et al., 2020). Sin embargo, aún se requiere mayor trabajo para desarrollar marcos teóricos más integrales del cambio de uso del suelo, anclados en el subsistema social y con vínculos explícitos con el subsistema ambiental (Turner et al., 2020).

Alcanzar este objetivo requiere avanzar desde la incorporación aislada de variables sociales, culturales o conductuales hacia marcos analíticos capaces de representar cómo los actores interpretan su contexto, toman decisiones y generan dinámicas emergentes a diferentes

escalas, aprovechando al mismo tiempo el progreso significativo ya alcanzado en la investigación sobre el uso del suelo.

En términos metodológicos, esto implica combinar enfoques complementarios, por ejemplo, integrar información derivada de la observación de la Tierra con datos socioeconómicos, narrativas históricas, entrevistas y conocimiento local para comprender los procesos sociales y culturales que subyacen a los patrones espaciales observados.

También exige incorporar de manera sistemática explicaciones culturales del cambio de uso del suelo, lo que implica promover la colaboración no solo entre disciplinas, sino también con comunidades fuera del ámbito académico (le Polain de Waroux et al., 2021). Esto se debe a que las explicaciones, derivadas principalmente de tradiciones científicas occidentales pueden no reflejar plenamente las diversas formas en que los pueblos indígenas y las comunidades campesinas comprenden y experimentan el cambio ambiental, especialmente en contextos marcados por actividades extractivas (Torres y Verschoor, 2020).

Además, se requieren metodologías que permitan documentar, movilizar y reconocer el conocimiento indígena respetando sus formas propias de producción y transmisión. En este sentido, el desarrollo y uso de metodologías y enfoques de investigación indígenas pueden ser fundamentales para garantizar que los procesos de investigación mantengan su legitimidad, validez, sofisticación y fortaleza dentro y entre comunidades (Redvers et al., 2022). Este conocimiento puede aportar perspectivas valiosas para la planificación comunitaria, el diseño de políticas y el desarrollo de soluciones más sostenibles fundamentadas en conocimientos locales, experienciales e indígenas. Sin embargo, como señalan Redvers et al. (2022), aunque el conocimiento indígena puede constituir una fuente va-

liosa para la gestión ambiental en distintos contextos, su generalización excesiva puede conducir a la pérdida de su significado, propósito y orientación.

Finalmente, respecto de la naturaleza de las explicaciones científicas, Baas y Emmeche (1997) argumentaron que alcanzar una comprensión científica más profunda e integral de fenómenos complejos requiere situar las explicaciones en marcos dinámicos y dependientes del contexto, en lugar de concebir la explicación científica como un argumento estrictamente deductivo. En este sentido, una oportunidad importante radica en explorar las interacciones no lineales entre procesos sociales y ambientales que configuran la riqueza del comportamiento humano y del funcionamiento ecológico, así como su dependencia mutua (Rindfuss et al., 2008).

Este estudio presenta limitaciones que conviene reconocer explícitamente y que, a su vez, delinean direcciones para la investigación futura.

En primer lugar, la selección de la literatura siguió una estrategia de búsqueda dirigida y selección intencional basada en la experticia de los autores, y no en un protocolo de revisión sistemática con cadenas de búsqueda reproducibles. Esta decisión, coherente con el objetivo de sintetizar desafíos explicativos transversales entre disciplinas heterogéneas, implica una menor replicabilidad estricta; no obstante, la base documental del análisis es trazable mediante la lista completa de referencias y su clasificación por tradición disciplinaria y contribución principal (Anexo 1).

En segundo lugar, el análisis no pretende cubrir de manera exhaustiva todas las ramas de la ciencia que estudian el cambio de uso del suelo, sino un conjunto representativo de tradiciones disciplinarias relevantes; una cartografía sistemática de cada disciplina excede el alcance de este trabajo. En consecuencia, una dirección valiosa para la investigación futura consiste en desarrollar

revisiones focalizadas, potencialmente sistemáticas, dentro de disciplinas específicas, que permitan profundizar en cómo cada tradición aborda las brechas aquí identificadas.

En tercer lugar, el análisis se sustentó exclusivamente en la literatura publicada en inglés, lo que implica un predominio de perspectivas desarrolladas en el Norte Global y una posible subrepresentación de contribuciones provenientes de otros contextos lingüísticos, geográficos y epistemológicos. En consecuencia, futuras investigaciones podrían ampliar el alcance de este análisis mediante la incorporación de literatura en español y en otros idiomas, favoreciendo la integración de enfoques desarrollados en el Sur Global y en otros contextos regionales. Esta ampliación contribuiría a enriquecer la diversidad conceptual del campo y a construir marcos explicativos más comprehensivos e inclusivos para el estudio del cambio de uso del suelo.

En conjunto, la discusión muestra que las brechas identificadas no son desafíos aislados, sino dimensiones interrelacionadas de un mismo desafío explicativo: comprender cómo las decisiones humanas, los contextos institucionales y culturales, las dinámicas biofísicas y los procesos multiescalares co-configuran los cambios de uso del suelo. Por ello, fortalecer la investigación futura requiere no solo integrar más datos, sino también clarificar los supuestos teóricos que orientan la interpretación, la modelización y la predicción del cambio de uso del suelo.

CONCLUSIÓN

Este estudio empleó un análisis conceptual comparativo cualitativo para examinar cómo distintas tradiciones disciplinarias han explicado el cambio de uso del suelo.

El análisis identificó tres brechas explicativas recurrentes relacionadas con la representación del contexto, el desafío micro–macro y el potencial de predicción. Aunque se presentan por separado con fines analíticos, estas brechas explicativas están estrechamente interrelacionadas. En conjunto, sugieren que el avance de la investigación sobre el uso del suelo depende no solo de mejores datos y enfoques de modelización, sino también de una integración teórica más sólida entre perspectivas disciplinarias complementarias.

Los hallazgos indican que el desarrollo de una teoría más integral del cambio de uso del suelo requiere mayor atención al contexto, al comportamiento humano, a la diversidad cultural y a las interacciones entre escalas, al tiempo que continúa construyéndose sobre los importantes avances ya alcanzados en la ciencia de los sistemas de uso del suelo y en campos relacionados. Más que proponer un paradigma alternativo de modelización, este estudio identifica oportunidades para fortalecer los enfoques existentes mediante la mejora de sus fundamentos explicativos y el fomento de una mayor integración interdisciplinaria. En este sentido, la contribución principal del artículo consiste en aclarar problemas explicativos transversales que atraviesan distintas tradiciones disciplinarias, más que en evaluar empíricamente modelos específicos o proponer un marco predictivo cerrado.

En última instancia, fortalecer las explicaciones del cambio de uso del suelo requiere reconocer que el cambio ambiental emerge de interacciones dinámicas entre actores sociales, instituciones y ecosistemas que operan a múltiples escalas espaciales y temporales. Una representación más robusta de estas interacciones constituye una condición clave tanto para mejorar la comprensión científica del cambio de uso del suelo como para diseñar herramientas más eficaces que apoyen la planificación territorial sostenible y la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Baas, N. A., y Emmeche, C. (1997). On emergence and explanation. *Intellectica. Revue de l'Association Pour La Recherche Cognitive*, 25(2), 67–83. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1558>
- Barthel, S., Folke, C., y Colding, J. (2010). Social–ecological memory in urban gardens—Retaining the capacity for management of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 20(2), 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.01.001>
- Brown, C., Alexander, P., Holzhauer, S., y Rounsevell, M. D. A. (2017). Behavioral models of climate change adaptation and mitigation in land-based sectors. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 8(2), e448. <https://doi.org/10.1002/wcc.448>
- Bryant, R. L. (1998). Power, knowledge and political ecology in the third world: A review. *Progress in Physical Geography*, 22(1), 79–94. <https://doi.org/10.1191/030913398674890974>
- Bürgi, M., Celio, E., Diogo, V., Hersperger, A. M., Kizos, T., Lieskovsky, J., Pazur, R., Plieninger, T., Prishchepov, A. V., y Verburg, P. H. (2022). Advancing the study of driving forces of landscape change. *Journal of Land Use Science*, 17, 540–555. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2022.2029599>
- Clarke, A. E. (2005). *Situational analysis: Grounded theory after the postmodern turn*. Sage Publications, Inc.
- Coleman, J. S. (1986). Social Theory, Social Research, and a Theory of Action. *American Journal of Sociology*, 91(6), 1309–1335. <https://www.jstor.org/stable/2779798>
- Coral, C., Bokelmann, W., Bonatti, M., Carcamo, R., y Sieber, S. (2021). *Understanding institutional change mechanisms for land use: Lessons from Ecuador's history*. *Land Use Policy*, 108, 105530. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105530>
- Coral, C., Bokelmann, W., Bonatti, M., Carcamo, R., y Sieber, S. (2020). Agency and structure: A grounded theory approach to explain land-use change in the Mindo and western foothills of Pichincha, Ecuador. *Journal of Land Use Science*, 15(4), 547–569. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1811791>
- Corbin, J., y Strauss, A. (2015). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage Publications, Inc.
- Cramb, R. A., Pierce Colfer, C. J., Dressler, W., Laungaramsri, P., Le, Q. T., Mulyoutami, E., Peluso, N. L., y Wadley, R. L. (2009). Swidden transformations and rural livelihoods in southeast Asia. *Human Ecology*, 37(3), 323–346. <https://doi.org/10.1007/s10745-009-9241-6>
- Dacin, M. T., Goodstein, J., y Scott, W. R. (2002). Institutional theory and institutional change: Introduction to the special research forum. *The Academy of Management Journal*, 45(1), 45–56. <https://doi.org/10.2307/3069284>
- De Rosa, M., Knudsen, M. T., y Hermansen, J. E. (2016). A comparison of land use change models: Challenges and future developments. *Journal of Cleaner Production*, 113, 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.097>

- Ferguson, J., y Weaselboy, M. (2020). Indigenous sustainable relations: Considering land in language and language in land. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 43, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.11.006>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., y Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Friis, C., y Nielsen, J. Ø. (2017). Land-use change in a telecoupled world: The relevance and applicability of the telecoupling framework in the case of banana plantation expansion in Laos. *Ecology and Society*, 22(4), 30. <https://doi.org/10.5751/ES-09480-220430>
- Geist, H. J., y Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2), 143–150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- Geist, H., McConnell, W., Lambin, E. F., Moran, E., Alves, D., & Rudel, T. (2006). Causes and trajectories of land-use/cover change. En E. F. Lambin & H. J. Geist (Eds.), *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts* (pp. 41–70). Springer.
- Geoghegan, J., Pritchard, L., Jr., Ogneva-Himmelberger, Y., Roy Chowdhury, R., Sanderson, S., & Turner, B. L. (1998). „Socializing the pixel“ and „pixelizing the social“ in land-use and land-cover change. En D. Liverman, E. F. Moran, R. R. Rindfuss, & P. C. Stern (Eds.), *People and pixels: Linking remote sensing and social science* (pp. 51–69). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5963>
- Gomes, L. C., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Schulte, R. P. O., Arts, B. J. M., y Fernandes Filho, E. I. (2020). Land use and land cover scenarios: An interdisciplinary approach integrating local conditions and the global shared socioeconomic pathways. *Land Use Policy*, 97, 104723. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104723>
- Guterbock, T. M., Collins, R., Grandjean, B., Hunter, A., y Kayhoe, M. (1980). Sociology and the land-use problem. *Urban Affairs Review*, 15 (3), 243–267. <https://doi.org/10.1177/107808748001500301>
- Heck, V., Hoff, H., Wirsenius, S., Meyer, C., y Kreft, H. (2018). Land use options for staying within the planetary boundaries – Synergies and trade-offs between global and local sustainability goals. *Global Environmental Change*, 49, 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.02.004>
- Hedström, P., y Swedberg, R. (1998). Social mechanisms: An introductory essay. En P. Hedström y R. Swedberg (Eds.), *Social mechanisms: An analytical approach to social theory*. Cambridge University Press. <http://people.soc.cornell.edu/swedberg/1998%20Social%20Mechanisms.pdf>
- Hofman, J. M., Watts, D. J., Athey, S., Garip, F., Griffiths, T. L., Kleinberg, J., Margetts, H., Mullainathan, S., Salganik, M. J., Vazire, S., Vespignani, A., y Yarkoni, T. (2021). Integrating explanation and prediction in computational social science. *Nature*, 595(7866), 181–188. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03659-0>

- Holling, C. S., Gunderson, L. H., y Peterson, G. D. (2001). Sustainability and panarchies. En L. H. Gunderson y C. S. Holling (Eds.). *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems* (pp. 63–102). Island Press.
- Iwamura, T., Lambin, E. F., Silvius, K. M., Luzar, J. B., y Fragoso, J. M. V. (2016). Socio-environmental sustainability of indigenous lands: Simulating coupled human-natural systems in the Amazon. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), 77–83. <https://doi.org/10.1002/fee.1203>
- Kugler, T. A., Grace, K., Wrathall, D. J., de Sherbinin, A., Van Riper, D., Aubrecht, C., Comer, D., Adamo, S. B., Cervone, G., Engstrom, R., Hultquist, C., Gaughan, A. E., Linard, C., Moran, E., Stevens, F. R., Tatem, A. J., Tellman, B., y Van Den Hoek, J. (2019). People and pixels 20 years later: The current data landscape and research trends blending population and environmental data. *Population and Environment*, 41(2), 209–234. <https://doi.org/10.1007/s11111-019-00326-5>
- Lambin, E. F., y Geist, H. (Eds.). (2006). *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts*. Global Change - The IGBP Series. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7>
- Lambin, E. F., Geist, H., y Rindfuss, R. R. (2006). *Introduction: Local processes with global impacts*. En E. F. Lambin y H. Geist (Eds.), *Land-use and land-cover change* (pp. 1–8). Springer.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., y Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205–241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Lazer, D., Hargittai, E., Freelon, D., Gonzalez-Bailon, S., Munger, K., Ognyanova, K., y Radford, J. (2021). Meaningful measures of human society in the twenty-first century. *Nature*, 595(7866), 189–196. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03660-7>
- le Polain de Waroux, Y., Garrett, R. D., Chapman, M., Friis, C., Hoelle, J., Hodel, L., Hopping, K., y Zaehring, J. G. (2021). The role of culture in land system science. *Journal of Land Use Science*, 16(4), 450–466. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2021.1950229>
- Lövbrand, E., Beck, S., Chilvers, J., Forsyth, T., Hedrén, J., Hulme, M., Lidskog, R., y Vasileiadou, E. (2015). Who speaks for the future of Earth? How critical social science can extend the conversation on the Anthropocene. *Global Environmental Change*, 32, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.03.012>
- Maines, D. R., y Bridger, J. C. (1992). Narratives, community and land use decisions. *The Social Science Journal*, 29(4), 363–380. [https://doi.org/10.1016/0362-3319\(92\)90001-X](https://doi.org/10.1016/0362-3319(92)90001-X)
- Malek, Ž., y Verburg, P. H. (2020). Mapping global patterns of land use decision-making. *Global Environmental Change*, 65, 102170. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102170>
- Malek, Ž., Douw, B., Van Vliet, J., Van Der Zanden, E. H., y Verburg, P. H. (2019). Local land-use decision-making in a global context. *Environmental Research Letters*, 14(8), 083006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab309e>

- Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duveneck, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., Druschke, C. G., Hychka, K., Kenney, M. A., Kok, K., y Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. *Environmental Modelling and Software*, 82, 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.011>
- Meyfroidt, P. (2013). Environmental cognitions, land change, and social-ecological feedbacks: An overview. *Journal of Land Use Science*, 8(3), 341–367. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2012.667452>
- Morain, S. A. (1998). A brief history of remote sensing applications, with emphasis on Landsat. En D. Liverman, E. F. Moran, R. R. Rindfuss y P. C. Stern (Eds.), *People and pixels: Linking remote sensing and social science*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5963>
- Muchena, F. N., Onduru, D. D., Gachini, G. N., y de Jager, A. (2005). Turning the tides of soil degradation in Africa: Capturing the reality and exploring opportunities. *Land Use Policy*, 22(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.07.001>
- Müller, D. (2016). Research frontiers in land use science. *Journal of Land Use Science*, 11(6), 619–622. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2016.1242924>
- Munroe, D. K., y Müller, D. (2020). Land-system science to support achieving the sustainable development goals. *Journal of Land Use Science*, 15(4), 477–481. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1783085>
- Muro, J., Zurita-Arthos, L., Jara, J., Calderón, E., Resl, R., Rienow, A., y Graw, V. (2020). Earth observation for settlement mapping of Amazonian indigenous populations to support SDG7. *Resources*, 9(8), 97. <https://doi.org/10.3390/RESOURCES9080097>
- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., y Anandhi, A. (2021). A synthesis of land use/land cover studies: Definitions, classification systems, meta-studies, challenges and knowledge gaps on a global landscape. *Land*, 10(9), 994. <https://doi.org/10.3390/land10090994>
- OECD. (2020). *Towards sustainable land use: Aligning biodiversity, climate and food policies*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/3809b6a1-en>
- Ojima, D. S., Galvin, K. A., y Turner, B. L. (1994). The global impact of land-use change: To understand global change, natural scientists must consider the social context influencing human impact on environment. *BioScience*, 44(5), 300–304. <https://doi.org/10.2307/1312379>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325, 419–422. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1172133>
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Pereira, Â. G., Rinaudo, J.-D., Jeffrey, P., Blasques, J., Corral Quintana, S., Courtois, N., Funtowicz, S., y Petit, V. (2003). ICT tools to support public participation in water resources governance & planning: Experiences from the design and testing of a multi-media platform. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 5(3), 395–420. <https://doi.org/10.1142/S1464333203001383>

- Piquer-Rodríguez, M., Butsic, V., Gärtner, P., Macchi, L., Baumann, M., Gavier Pizarro, G., Volante, J. N., Gasparri, I. N., y Kuemmerle, T. (2018). Drivers of agricultural land-use change in the Argentine Pampas and Chaco regions. *Applied Geography*, 91, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.004>
- Plieninger, T., Draux, H., Fagerholm, N., Bieling, C., Bürgi, M., Kizos, T., Kuemmerle, T., Primdahl, J., y Verburg, P. H. (2016). The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence. *Land Use Policy*, 57, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.040>
- Prestele, R., Arneth, A., Bondeau, A., De Noblet-Ducoudré, N., Pugh, T. A. M., Sitch, S., Stehfest, E., y Verburg, P. H. (2017). Current challenges of implementing anthropogenic land-use and land-cover change in models contributing to climate change assessments. *Earth System Dynamics*, 8(2), 369–386. <https://doi.org/10.5194/esd-8-369-2017>
- Ramankutty, N., y Coomes, O. T. (2016). Land-use regime shifts: An analytical framework and agenda for future land use research. *Ecology and Society*, 21(2), 1. <https://doi.org/10.5751/ES-08370-210201>
- Rasmussen, L. B. (2005). The narrative aspect of scenario building - How story telling may give people a memory of the future. *AI and Society*, 19(3), 229–249. <https://doi.org/10.1007/s00146-005-0337-2>
- Redvers, N., Celidwen, Y., Schultz, C., Horn, O., Githaiga, C., Vera, M., Perdrisat, M., Mad Plume, L., Kobei, D., Kain, M. C., Poelina, A., Rojas, J. N., y Blondin, B. (2022). The determinants of planetary health: An Indigenous consensus perspective. *The Lancet. Planetary Health*, 6(2), e156–e163. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00354-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00354-5)
- Rindfuss, R. R., Entwisle, B., Walsh, S. J., An, L., Badenoch, N., Brown, D. G., ... Verburg, P. H. (2008). Land use change: Complexity and comparisons. *Journal of Land Use Science*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/17474230802047955>
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, B. L., Fox, J., y Mishra, V. (2004). Developing a science of land change: Challenges and methodological issues. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(39), 13976–13981. <https://doi.org/10.1073/pnas.0401545101>
- Robinson, D. T., Di Vittorio, A., Alexander, P., Arneth, A., Barton, C. M., Brown, D. G., Kettner, A., Lemmen, C., O'Neill, B. C., Janssen, M., Pugh, T. A. M., Rabin, S. S., Rounsevell, M., Syvitski, J. P., Ullah, I., y Verburg, P. H. (2018). Modelling feedbacks between human and natural processes in the land system. *Earth System Dynamics*, 9(2), 895–914. <https://doi.org/10.5194/esd-9-895-2018>
- Roland, G. (2008). Fast-moving and slow-moving institutions. En J. Kornai, M. Mátyás y G. Roland (Eds.). *Institutional change and economic behaviour* (pp. 16–21). Palgrave Macmillan. <https://www.ifo.de/DocDL/dicereport204-forum3.pdf>
- Rueda, X., Velez, M. A., Moros, L., y Rodriguez, L. A. (2019). *Beyond proximate and distal causes of land-use change: Linking individual motivations to deforestation in rural contexts*. *Ecology and Society*, 24(1), 4. <https://doi.org/10.5751/ES-10617-240104>

- Santos, F., Graw, V., y Bonilla, S. (2019). A geographically weighted random forest approach for evaluate forest change drivers in the Northern Ecuadorian Amazon. *PLoS ONE*, 14(12), 1–37. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226224>
- Schill, C., Anderies, J. M., Lindahl, T., Folke, C., Polasky, S., Cárdenas, J. C., Crépin, A. S., Janssen, M. A., Norberg, J., y Schlüter, M. (2019). A more dynamic understanding of human behaviour for the Anthropocene. *Nature Sustainability*, 2(12), 1075–1082. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0419-7>
- Schlüter, M., Haider, L. J., Lade, S. J., Lindkvist, E., Martin, R., Orach, K., Wijermans, N., y Folke, C. (2019). Capturing emergent phenomena in social-ecological systems: An analytical framework. *Ecology and Society*, 24(3), Article 11. <https://doi.org/10.5751/ES-11012-240311>
- Schwarz, N., Dressler, G., Frank, K., Jager, W., Janssen, M., Müller, B., Schlüter, M., Wijermans, N., y Groeneveld, J. (2020). Formalising theories of human decision-making for agent-based modelling of social-ecological systems: Practical lessons learned and ways forward. *Socio-Environmental Systems Modelling*, 2, Article 16340. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a16340>
- Skaloš, J., y Kašparová, I. (2012). Landscape memory and landscape change in relation to mining. *Ecological Engineering*, 43, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.07.001>
- Sterk, B., van Ittersum, M. K., Leeuwis, C., Rossing, W. A. H., van Keulen, H., y van de Ven, G. W. J. (2006). Finding niches for whole-farm design models – Contradiction in terminis? *Agricultural Systems*, 87(2), 211–228. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.11.008>
- Stoll-Kleemann, S. (Ed.). (2015). *Local perceptions and preferences for landscape and land use in the Fischland-Darß-Zingst Region, German Baltic Sea*. Greifswalder Geographische Arbeiten Bd. 51. Institut für Geographie und Geologie der Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald. <http://e-docs.geo-leo.de/>
- Tellman, B., Magliocca, N. R., Turner, B. L., II, y Verburg, P. H. (2020). Understanding the role of illicit transactions in land-change dynamics. *Nature Sustainability*, 3(3), 175–181. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0457-1>
- Titeux, N., Henle, K., Mihoub, J. B., Regos, A., Geijzendorffer, I. R., Cramer, W., Verburg, P. H., y Brotons, L. (2017). Global scenarios for biodiversity need to better integrate climate and land use change. *Diversity and Distributions*, 23(11), 1231–1234. <https://doi.org/10.1111/ddi.12624>
- Torres, C., y Verschoor, G. (2020). Re-imagining environmental governance: Gold dredge mining vs territorial health in the Colombian Amazon. *Geoforum*, 117, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.09.013>
- Turner, B. L., Lambin, E. F., y Verburg, P. H. (2021). From land-use/land-cover to land system science. *Ambio*, 50(7), 1291–1294. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01510-4>
- Turner, B. L., Meyfroidt, P., Kuemmerle, T., Müller, D., y Chowdhury, R. R. (2020). Framing the search for a theory of land use. *Journal of Land Use Science*, 15(4), 489–508. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1811792>

- Turner, B. L., Lambin, E. F., y Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(52), 20666–20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
- Turner, B. L. (1997). The sustainability principle in global agendas: Implications for understanding land-use/cover change. *The Geographical Journal*, 163(2), 133–140. <https://doi.org/10.2307/3060176>
- Van der Does, M., y Arce, A. (1998). The value of narratives in rural development projects: A case from Ecuador. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 5(2), 85–98. <https://doi.org/10.1080/13892249885300211>
- Van Vliet, J., de Groot, H. L. F., Rietveld, P., y Verburg, P. H. (2015). Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landscape and Urban Planning*, 133, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001>
- Veldkamp, A., y Lambin, E. F. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85, 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2)
- Verburg, P. H., Alexander, P., Nicholas, T. E., Magliocca, R., Malek, Z., Rounsevell, M. D. A., y van Vliet, J. (2019). Beyond land cover change: Towards a new generation of land use models. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.002>
- Verburg, P. H., Crossman, N., Ellis, E. C., Heinimann, A., Hostert, P., Mertz, O., Nagendra, H., Sikor, T., Erb, K. H., Golubiewski, N., Grau, R., Grove, M., Konaté, S., Meyfroidt, P., Parker, D. C., Chowdhury, R. R., Shibata, H., Thomson, A., y Zhen, L. (2015). Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, 12, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.004>
- Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., y Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: Current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4), 309–324. <https://doi.org/10.1007/s10708-004-4946-y>
- Walters, B. B. (2022). Explaining land use and forest change: More theory or better methodology? *Landscape Ecology*, 38, 4107–4116. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01397-2>
- Willemen, L., Barger, N. N., ten Brink, B., Cantele, M., Erasmus, B. F. N., Fisher, J. L., Gardner, T., Holland, T. G., Kohler, F., Kotiaho, J. S., von Maltitz, G. P., Nangendo, G., Pandit, R., Parrotta, J. A., Potts, M. D., Prince, S. D., Sankaran, M., Brainich, A., Montanarella, L., y Scholes, R. (2020). How to halt the global decline of lands. *Nature Sustainability*, 3(3), 164–166. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0477-x>

Anexo 1. Clasificación de las referencias por tradición disciplinaria y contribución principal (1980–2022)

#	Año	Cita en texto	Disciplina / tradición	Contribución principal
1	1980	Guterbock, Collins, Grandjean, Hunter & Kayhoe	Sociología	Examina la contribución de la sociología al análisis de conflictos y decisiones de uso del suelo, destacando dimensiones sociales y normativas.
2	1990	Ostrom*	Economía política / Teoría institucional	Cuestiona la idea de que la privatización o el control estatal sean las únicas soluciones para los problemas de recursos de uso común; mediante análisis institucional y evidencia empírica examina las condiciones bajo las cuales comunidades y organizaciones voluntarias pueden gestionar colectivamente recursos compartidos.
3	1992	Maines & Bridger	Sociología / Análisis narrativo	Analiza el carácter narrativo de las comunidades, planteando que las narrativas son actos sociales integrados en instituciones y en la economía política local; utiliza las decisiones de turismo estatal y uso del suelo como ejemplos de situaciones donde estos procesos narrativos se manifiestan.
4	1994	Ojima, Galvin & Turner	Ciencias del sistema terrestre / Geografía	Plantea que la comprensión del cambio ambiental global requiere integrar el contexto social con los procesos biofísicos; desarrolla un marco temprano para analizar los vínculos entre actividades humanas, cambio de uso/cobertura del suelo y retroalimentaciones ambientales.

5	1997	Turner	Geografía / precursor de Land Change Science	Introduce el “principio de sostenibilidad” como un marco para vincular las agendas de cambio ambiental global y desarrollo sostenible; analiza sus implicaciones para comprender los procesos de cambio de uso/cobertura del suelo y contribuye al desarrollo conceptual temprano del campo de Land Change Science.
6	1998	Bryant*	Ecología política / Geografía	Analiza las dinámicas políticas asociadas a las disputas materiales y discursivas sobre el ambiente en el Sur Global (Tercer Mundo en la literatura de la época); destaca cómo las relaciones de poder desiguales, los sistemas de control político-económico heredados del colonialismo y los discursos ambientales influyen en el acceso a los recursos, la definición de problemas ambientales y las intervenciones de gestión.
7	1998	Geoghegan, Pritchard, Ogneva-Himmelberger et al.	Geografía / Teledetección y ciencias sociales ambientales	Integra la teledetección con las ciencias sociales para mejorar la comprensión de procesos sociales e interacciones humano-ambientales asociados al cambio de uso/cobertura del suelo; destaca la necesidad de vincular datos espaciales con explicaciones sociales mediante colaboraciones interdisciplinarias.
8	1998	Morain*	Teledetección / Ciencias socioambientales / Estudios humano-ambientales	Integra la teledetección espacial con el análisis de procesos sociales y relaciones humano-ambiente, mostrando el potencial de los sensores remotos para estudiar dinámicas sociales y territoriales.

9	1998	van der Does & Arce	Estudios del desarrollo rural / Sociología rural	Propone una perspectiva narrativa para aprender de experiencias de desarrollo rural; sugiere que las narrativas explican cómo los actores se alinean en la negociación local de proyectos.
10	2001	Holling, Gunderson & Peterson*	Ecología de sistemas / Teoría de la resiliencia	Desarrolla el concepto de panarquía como un marco para comprender sistemas jerárquicos dinámicos y sus transformaciones; integra conceptos de resiliencia, cambio adaptativo e interacciones entre escalas para analizar la relación entre sistemas ecológicos y sociales en contextos de sostenibilidad.
11	2001	Veldkamp & Lambin	Modelización de uso del suelo	Desarrolla el papel de los modelos espacialmente explícitos de cambio de uso/cobertura del suelo como herramientas para explorar trayectorias futuras y evaluar los procesos que generan transformaciones territoriales. Propone enfoques integrados y multiescala-res que incorporan factores impulsores sociales y ambientales, así como retroalimentaciones biofísicas entre sistemas humanos y ecológicos.
12	2002	Geist & Lambin	Ecología política / Land Change Science/ Estudios de cambio de uso del suelo	Desarrolla un marco analítico que distingue entre causas próximas y fuerzas subyacentes del cambio de cobertura forestal. A partir de una comparación de estudios de caso, demuestra que la deforestación tropical surge de combinaciones regionalmente específicas de factores económicos, institucionales, políticos, tecnológicos y demográficos, cuestionando explicaciones monocausales basadas únicamente en población o prácticas agrícolas.

13	2003	Lambin, Geist & Lepers	Land Change Science / Sistemas socioecológicos	Propone un marco conceptual integrador para comprender el cambio de uso y cobertura del suelo como un proceso complejo generado por combinaciones sinérgicas de factores económicos, políticos, sociales y ambientales. Identifica trayectorias dominantes de cambio, incorpora retroalimentaciones entre sistemas humanos y ecosistemas, y plantea el análisis del cambio territorial desde la perspectiva de sistemas adaptativos complejos y estudios multiescales.
14	2004	Rindfuss, Walsh, Turner, Fox & Mishra	Land Change Science / Ciencias geográficas de información espacial / Ciencias socioambientales	Plantea los desafíos metodológicos para integrar datos sociales, ambientales y espaciales en el estudio del cambio terrestre.
15	2004	Verburg, Schot, Dijst & Veldkamp	Modelización del cambio de uso del suelo / Land Change Science / Geografía cuantitativa	Revisa modelos de cambio de uso del suelo e identifica seis desafíos clave (escala, impulsores, dinámica temporal, interacciones espaciales e integración), proponiendo una nueva generación de modelos multiescales e interdisciplinarios.
16	2005	Foley, DeFries, Asner et al.	Ecología global / Ciencias ambientales	Reconceptualiza el uso del suelo como un motor global del cambio ambiental y destaca sus efectos sobre biodiversidad, recursos hídricos, clima y servicios ecosistémicos.
17	2005	Muchena, Onduru, Gachini & de Jager	Ciencia del suelo / Sistemas agrícolas / Desarrollo rural	Reevalúa la degradación del suelo en África Oriental, destacando la necesidad de integrar indicadores biofísicos, productivos y socioinstitucionales para comprender su magnitud y causas.
18	2006	Geist, McConnell, Lambin, Moran, Alves & Rudel	Land Change Science / Ciencias socioambientales / Métodos comparativos	Integra estudios de caso y análisis comparativos para identificar patrones generales del cambio de uso/cobertura del suelo, mostrando que las relaciones causales dependen del contexto espacial, temporal e institucional

19	2006	Lambin & Geist, Eds.	Land Change Science / Cambio ambiental global (vol. editado)	Sintetiza los avances del proyecto LUCC sobre tasas, causas, impactos y escenarios del cambio de uso/cobertura del suelo, destacando su papel como fuerza del cambio del sistema Tierra.
20	2006	Lambin, Geist & Rindfuss	Land Change Science / Cambio ambiental global	Establece una agenda teórica para la ciencia del cambio terrestre, integrando procesos humanos y biofísicos, escalas múltiples, retroalimentaciones y vínculos entre gestores de la tierra y patrones espaciales
21	2006	Sterk, van Ittersum, Leeuwis et al.	Sistemas agrícolas / Modelización participativa de fincas	Analiza el potencial de los modelos de diseño de fincas para apoyar procesos de innovación agrícola, destacando el papel del “reencuadre” en la reconsideración colectiva de objetivos y problemas.
22	2007	Turner, Lambin & Reenberg	Land Change Science / Cambio ambiental global / Sistemas humano-ambientales acoplados	Consolida Land Change Science como un campo interdisciplinario para comprender las dinámicas de uso y cobertura del suelo como sistemas humano-ambientales acoplados, integrando observación, causas, impactos, modelización y síntesis.
23	2008	Rindfuss, Entwisle, Walsh et al.	Land Change Science / Sistemas socioambientales / Modelización espacial y basada en agentes	Analiza la complejidad del cambio de uso del suelo y los desafíos para comparar estudios de caso y avanzar hacia la generalización. Destaca la importancia de integrar actores, escalas espaciales y modelos basados en agentes para comprender sistemas humano-ambientales.
24	2009	Cramb, Colfer, Dressler et al.	Ecología política / Antropología ambiental / Sistemas socioambientales	Analiza las transformaciones de la agricultura migratoria (<i>swidden</i>) y sus efectos sobre los medios de vida rurales en el sudeste asiático, destacando la interacción entre mercados, políticas estatales, instituciones locales y estrategias familiares de adaptación.

25	2009	Ostrom*	Economía política / Sistemas socioecológicos (SES) / Teoría institucional	Propone un marco general para analizar sistemas socioecológicos mediante 10 variables del subsistema, explicando las condiciones que favorecen la autoorganización y la gestión sostenible de recursos comunes.
26	2010	Barthel, Folke & Colding	Sistemas socioecológicos (SES) / Ecología urbana / Resiliencia socioecológica	Analiza la memoria socioecológica en huertos urbanos como mecanismo de conservación y transmisión de conocimiento ecológico, mostrando su papel en la resiliencia y provisión de servicios ecosistémicos.
27	2012	Skaloš & Kašparová	Ecología del paisaje / Historia ambiental / Estudios del paisaje	Propone el concepto de “memoria del paisaje” para analizar la persistencia y transformación de estructuras territoriales históricas, destacando la importancia del contexto espacial y temporal en la interpretación del cambio del paisaje.
28	2013	Meyfroidt	Cambio de uso del suelo / Cognición ambiental / Sistemas socioecológicos	Propone incorporar las cogniciones ambientales en el análisis del cambio de uso del suelo, mostrando que las decisiones de los actores dependen de percepciones, valores, normas sociales y procesos de interpretación del cambio ambiental. Plantea que las retroalimentaciones socioecológicas modifican creencias y reglas de decisión, mejorando la representación del comportamiento humano en los modelos de cambio de uso del suelo.
29	2015	Lövbrand, Beck, Chilvers et al.*	Ciencias sociales críticas / Estudios del cambio ambiental global	Propone una agenda interpretativa para analizar críticamente el Antropoceno como una construcción social y cultural con múltiples significados y trayectorias políticas. Plantea que las ciencias sociales pueden ampliar el debate ambiental examinando los supuestos ontológicos que orientan la comprensión del cambio planetario y las respuestas frente a él.

30	2015	Stoll-Kleemann, Ed.	Geografía humana / Percepción del paisaje / Ciencias sociales ambientales	Analiza cómo las percepciones locales, valores y sentido de pertenencia influyen en la relación entre población y cambios del paisaje y uso del suelo en una región costera alemana. Muestra que los cambios territoriales son interpretados mediante dimensiones sociales, culturales y emocionales, aportando evidencia sobre la importancia de incorporar perspectivas locales en la gestión del territorio.
31	2015	van Vliet, de Groot, Rietveld & Verburg	Cambio de uso del suelo / Sistemas agrícolas	Revisa 137 estudios sobre cambio agrícola en Europa, identificando trayectorias de intensificación y desintensificación asociadas a factores económicos, institucionales y tecnológicos, con los agricultores como mediadores clave del cambio.
32	2015	Verburg, Crossman, Ellis et al.	Land System Science / Sistemas socioecológicos	Sintetiza avances de la ciencia de sistemas de uso del suelo, destacando las interacciones humano-ambientales, los trade-offs socioecológicos y el papel de la gobernanza para orientar transformaciones sostenibles.
33	2016	De Rosa, Knudsen & Hermansen	Modelización del cambio de uso del suelo / Evaluación de Ciclo de Vida	Clasifica y compara modelos de cambio de uso del suelo aplicados a ACV en categorías económicas, causal-descriptivas y normativas, identificando desafíos de transparencia, datos e integración interdisciplinaria.
34	2016	Iwamura, Lambin, Silvius, Luzar & Fragoso	Sistemas socioecológicos / Modelización basada en agentes	Simula sistemas humano-naturales acoplados en tierras indígenas amazónicas mediante modelos basados en agentes, mostrando cómo múltiples impulsores sociales y ambientales afectan la sostenibilidad.

35	2016	Mallampalli, Mavrommati, Thompson et al.	Modelización de escenarios / Cambio de uso del suelo	Revisa métodos para traducir escenarios narrativos de cambio de uso del suelo en evaluaciones cuantitativas, destacando la necesidad de procesos transparentes, reproducibles y con participación de expertos y actores.
36	2016	Müller	Ciencia del uso del suelo (editorial)	Identifica fronteras emergentes de investigación en ciencia del uso del suelo, destacando avances teóricos, modelización de sistemas complejos y nuevos temas prioritarios para comprender sistemas humano–naturales acoplados.
37	2016	Plieninger, Draux, Fagerholm et al.	Ecología del paisaje	Realiza una síntesis sistemática de 144 estudios sobre impulsores del cambio de paisaje en Europa; identifica el abandono de tierras como el proceso más frecuente y muestra que combinaciones de factores políticos, culturales, naturales y espaciales determinan el cambio.
38	2016	Ramankutty & Coomes	Land Change Science / Sistemas de uso del suelo	Propone un marco analítico para estudiar cambios de régimen en el uso del suelo, identificando precondiciones, factores desencadenantes y procesos autorreforzantes como elementos clave de las transiciones territoriales.
39	2017	Brown, Alexander, Holzhauer & Rounsevell	Modelización de sistemas de uso del suelo / Ciencia del cambio climático	Revisión de modelos de sistemas de tierra que representan comportamientos de adaptación y mitigación climática; halla sesgo hacia lo agrícola, predominio de decisiones económicas y comportamientos dinámicos (difusión, aprendizaje) poco representados.

40	2017	Friis & Nielsen	Land System Science / Telecoupling	Operacionaliza cualitativamente el marco de “telecoupling” en el boom bananero de Laos; rastrea flujos y procesos distales desde la perspectiva de actores locales, identificando cuatro telecouplings materiales e inmateriales y su potencial de retroalimentación.
41	2017	Prestele, Arneth, Bondeau et al.	Modelización de sistemas terrestres / Ciencia del sistema climático	El uso del suelo se implementa de forma simplificada en modelos de biosfera terrestre (TBM) usados por el IPCC, alimentados exógenamente por modelos de evaluación integrada (IAM); identifica tres desafíos clave (series temporales, procesos de sub-grilla, asignación espacial) y propone marcos de modelización integrada.
42	2017	Titeux, Henle, Mihoub et al.	Ecología / Biodiversidad (perspectiva)	Desde el auge del IPCC-SRES (2000), los escenarios de biodiversidad basados en cambio climático han crecido mucho más que los basados en cambio de uso del suelo, pese a que los modelos de evaluación integrada usados por el IPCC capturan solo parcialmente los aspectos del uso del suelo relevantes para biodiversidad (p. ej., intensidad de manejo); hace un llamado a IPBES para coordinar comparaciones de modelos enfocadas específicamente en biodiversidad.
43	2018	Heck, Hoff, Wirsenius, Meyer & Kreft	Modelización de sistemas terrestres / Sostenibilidad	Mediante optimización multicriterio guiada por el marco de “Límites Planetarios”, desarrolla escenarios alternativos de uso global del suelo que maximizan secuestro de carbono (hasta 98 GtC) y reducción de riesgo a la biodiversidad (hasta 53%), analizando sinergias y balances con metas de los ODS a escala nacional/local.

44	2018	Piquer-Rodríguez, Butsic, Gärtner et al.	Geografía / Economía agrícola espacial	Mediante un modelo de retornos netos (2000–2010, escala 1 km), muestra que la intensificación agrícola responde fuertemente a la rentabilidad, mientras que la expansión sobre bosques (deforestación) es mucho menos sensible a ella; sugiere que los instrumentos económicos (impuestos, subsidios) tienen potencial limitado para frenar la deforestación frente a intervenciones territoriales o comunitarias.
45	2018	Robinson, Di Vittorio, Alexander et al.	Modelización de sistemas terrestres	Ante la ausencia de un marco común para modelar retroalimentaciones humano-naturales, propone un marco conceptual basado en configuración de acoplamiento y frecuencia de comunicación entre modelos; a partir de cuatro enfoques de acoplamiento existentes, extrae ocho lecciones y propone una hoja de ruta técnica (software contenedor, API estandarizada, flujos de trabajo reproducibles) para mejorar la interoperabilidad de los modelos.
46	2019	Kugler, Grace, Wrathall et al.	Ciencias geoespaciales / Demografía	A 20 años del volumen fundacional “People and Pixels” (1998), que vinculó cambios demográficos con uso/cobertura del suelo, identifica avances en fuentes de teledetección, datos sociales georreferenciados (incl. móviles) y computación; explora enfoques interdisciplinarios para abordar problemas urgentes (desastres, hambruna, sequía, guerra, pobreza, cambio climático).

47	2019	Malek, Douw, Van Vliet, Van Der Zanden & Verburg	Modelización / Revisión sistemática	Revisión sistemática 1950–2018 (315 publicaciones, 559 casos, 758 tomadores de decisión) que clasifica a los tomadores de decisión sobre uso del suelo en seis tipos según objetivos, actitudes y capacidades; encuentra que la supervivencia/subsistencia, no lo económico, es el objetivo más común, y detecta un sesgo de representatividad geográfica (regiones montañosas sobrerrepresentadas).
48	2019	Rueda, Velez, Moros & Rodriguez	Economía del comportamiento / Psicología ambiental	Mediante un instrumento basado en teoría de la autodeterminación (cinco tipos de motivación), estudia el efecto combinado de causas estructurales e individuales de la deforestación en una frontera rural colombiana; halla que las motivaciones intrínsecas se correlacionan con menor deforestación autorreportada, mientras que la amotivación y las motivaciones extrínsecas (p. ej. pagos por conservación esperados) se asocian con mayor probabilidad de deforestar.
49	2019	Santos, Graw & Bonilla	Teledetección / Ciencia de datos geoespaciales	Propone un método que combina regresión geográficamente ponderada (GWR) con random forest –resolviendo la sensibilidad a multicolinealidad de GWR– junto con series de teledetección y mapeo dasimétrico censal; aplicado a la Amazonía ecuatoriana (2000–2010), logra más de 74% de precisión y revela efectos contrastantes entre deforestación y reforestación según aptitud agrícola y accesibilidad.

50	2019	Schill, Anderies, Lindahl, Folke et al.*	Economía del comportamiento / Ciencia de sistemas complejos (perspectiva)	Partiendo de la economía del comportamiento y la psicología cognitiva, propone ampliarlas hacia una comprensión del comportamiento humano como parte de sistemas adaptativos complejos –enculturado” y “enraizado en la tierra” (enearthed), coevolucionando con contextos socioculturales y biofísicos– para informar la gobernanza ambiental y comprender la dinámica del Antropoceno.
51	2019	Schlüter, Haider, Lade et al.	Ciencia de sistemas socioecológicos	sistemas socioecológicosPropone el marco SE-AS de “situaciones de acción vinculadas” para capturar cómo interacciones sociales-ecológicas entre escalas generan fenómenos emergentes (cambios de régimen, trampas); validado en casos como el colapso del bacalao báltico y la trampa de pobreza en los Pamir, se posiciona más allá de marcos existentes como el de sistemas socioecológicos de Ostrom.
52	2019	Verburg, Alexander, Evans et al.	Modelización del uso del suelo / Land System Science	Los modelos de uso del suelo, centrales en Land System Science, han avanzado poco por evaluación insuficiente y representación limitada de procesos socioecológicos; propone mejorar la representación de dinámicas multiescales, agencia humana y relaciones oferta-demanda, orientando los modelos no solo a proyectar cambios sino a que la sociedad delibere y diseñe soluciones de sostenibilidad.

53	2020	Coral, Bokelmann, Bonatti, Carcamo & Sieber	Ciencia del cambio del uso del suelo	Mediante teoría fundamentada aplicada a narrativas de historia de vida, reconstruye cómo condiciones estructurales impulsan cambios en conceptos, prácticas e instituciones de uso del suelo –incluyendo una dimensión cultural-cognitiva– hasta producir cambios generacionales en Mindo, Ecuador.
54	2020	Ferguson & Weaselboy	Antropología lingüística (artículo de revisión)	Desde ontologías indígenas, argumenta la indivisibilidad conceptual entre lengua y tierra, y entre tierra y humanos; muestra que los proyectos de revitalización lingüística y de reclamación de tierra suelen estar vinculados, con evidencia de correlación entre mantenimiento de lengua indígena, vínculo con la tierra, y salud/bienestar comunitario.
55	2020	Gomes, Bianchi, Cardoso, Schulte, Arts & Fernandes Filho	Ciencia de sistemas terrestres / Modelización interdisciplinaria	Proyecta escenarios espacialmente explícitos de uso/cobertura del suelo (2045) para la Zona da Mata, Brasil, combinando relaciones históricas (1986–2015: pastizal 76%→58%, bosque 18%→24%, café 3%→11%) con las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) globales; muestra que reforestación e intensificación agrícola pueden coexistir, pero el futuro depende del camino socioeconómico seguido.
56	2020	Malek & Verburg	Modelización de uso del suelo / Geografía	A partir de estudios de caso locales, mapea globalmente los patrones de decisión sobre uso del suelo; muestra que la toma de decisiones se explica por condiciones socioeconómicas, climáticas y de suelo (p. ej., objetivos de subsistencia asociados a desnutrición infantil y menor producción económica), e identifica qué contextos están subrepresentados en la evidencia existente.

57	2020	Munroe & Müller	Ciencia de sistemas de uso del suelo (editorial)	Vincula el uso del suelo con el cumplimiento de los ODS a través de los límites planetarios (nutrientes, agua, biodiversidad); identifica metas prioritarias para la comunidad (pobreza, energía, ciudades, clima, vida en la tierra) y llama explícitamente a un mayor compromiso normativo/de política de la ciencia de sistemas de tierra, reconociendo la tensión con la tradición de objetividad científica.
58	2020	Muro, Zurita-Arthos, Jara et al.	Teledetección / Observación de la Tierra	Combina series de Landsat, SkySat y Planet-Scope con mapeo participativo para ubicar y dimensionar asentamientos indígenas amazónicos y proyectar su crecimiento a 2030; validado con encuestas en 49 comunidades ecuatorianas ($R^2=0.8$), permite estimar necesidades de servicios básicos (ODS 7) según las prioridades de los pueblos indígenas.
59	2020	OECD	Política ambiental (informe institucional)	Analiza estrategias nacionales, coordinación institucional e instrumentos de política en seis países (Brasil, Francia, Indonesia, Irlanda, México, Nueva Zelanda) para identificar buenas prácticas que alineen la toma de decisiones sobre uso del suelo con objetivos de clima, biodiversidad y alimentación.
60	2020	Schwarz, Dressler, Frank, Jager et al.	Modelización basada en agentes / Sistemas socioecológicos	A partir de su propia experiencia, sistematiza los desafíos de seleccionar, formalizar/codificar y documentar teorías psicológicas y económicas de decisión humana en modelos basados en agentes (ABM) de recursos naturales; ofrece guía para investigadores nuevos en el campo y busca facilitar la colaboración interdisciplinaria.

61	2020	Tellman, Magliocca, Turner & Verburg	Land Change Science / Teledetección (perspectiva)	Pese a los avances de la teledetección para explicar el cambio de uso del suelo, las actividades ilícitas suelen estar ausentes del análisis por falta de datos sobre transacciones ocultas; propone un marco conceptual y un enfoque de dos vías con datos de teledetección para vincular espacialmente actividades ilícitas con usos del suelo.
62	2020	Torres & Verschoor	Antropología / Gobernanza ambiental	A partir de trabajo de campo con el pueblo Andoke, muestra cómo cosmovisiones inconmensurables –la indígena (relaciones recíprocas con seres humanos y no humanos) y la estatal (separación naturaleza-cultura) generan una “tormenta perfecta” que habilita la minería aurífera ilegal, erosionando lo que los autores llaman “salud territorial”; propone una “gobernanza pluriversal” que haga justicia ontológica a los pueblos indígenas.
63	2020	Turner, Meyfroidt, Kuemmerle, Müller & Roy Chowdhury	Land System Science / Teoría	Ante la ausencia de una teoría general de uso del suelo anclada en el subsistema social con vínculos explícitos al subsistema biofísico, propone un marco de ocho elementos (agrupaciones de variables explicativas) para comparar sistemáticamente explicaciones existentes, aplicable tanto a enfoques top-down como bottom-up.

64	2020	Willemen, Barger, ten Brink et al.	Ecología / Política ambiental (comentario, IPBES)	A partir de la evaluación IPBES de degradación y restauración de tierras, documenta que la degradación global es severa y no se desacelera: ha alterado procesos ecológicos en tres cuartas partes de la superficie terrestre, afecta las condiciones de vida de dos quintas partes de la población mundial, y perjudica desproporcionadamente a comunidades indígenas y marginadas; plantea la necesidad urgente de revertir esta tendencia.
65	2021	Coral, Bokelmann, Bonatti, Carcamo & Sieber	Política institucional / Teoría fundamentada	Argumenta que las instituciones son marcos cultural-cognitivos, no solo sistemas regulatorios; mediante el caso ecuatoriano (reforma agraria de 1960-70, protección colectiva de 19.200 ha de bosque en Mindo), muestra que el cambio institucional relacionado con la tierra opera en múltiples niveles (individual, colectivo, estatal, global) y que las reformas embebidas en procesos globales no siempre reflejan necesidades locales.
66	2021	le Polain de Waroux, Garrett, Chapman et al.	Land System Science	Señala que el papel causal de la cultura en los sistemas de tierra ha sido poco estudiado frente a otras dimensiones estructurales (mercados, políticas, clima); mediante cuatro ejemplos, propone un marco conceptual para integrar la cultura a los modelos causales existentes de Land System Science y resume innovaciones metodológicas para estudiarla.

67	2021	Nedd, Light, Owens, James, Johnson & Anandhi	Ciencias geoespaciales / Revisión sistemática	Revisión de ~400 artículos sobre uso/cober- tura del suelo (LULC) que sintetiza definicio- nes, sistemas de clasificación, meta-estudios y desafíos; identifica la consistencia y calidad de datos como principal desafío, y vacíos de conocimiento en servicios ecosistémicos, sil- vicultura y modelización de datos/imágenes.
68	2021	Turner, Lambin & Verburg	Ciencia de sistemas de tierra (retrospectiva)	Traza la trayectoria desde el programa LUCC (1994) hacia la consolidación de Land Sys- tem Science vía el Global Land Programme, revisando avances en causas, teledetección, modelización, integración y sostenibilidad; identifica como desafío central la falta de una teoría general del uso del suelo, pese a la abundancia de teorías específicas, y la nece- sidad de sintetizar evidencia para abordar las “soluciones” basadas en tierra que compiten por los mismos recursos.
69	2022	Bürgi, Celio, Diogo, Hersperger et al.	Land Change Science / Ecología del paisaje	A 25 años de que el estudio de factores im- pulsores del cambio de paisaje se volviera tema central en Land Change Science, iden- tifica rutas de investigación críticas y su po- tencial para la investigación transformadora de sistemas, proponiendo avances concep- tuales y metodológicos hacia una perspecti- va de sistemas socioecológicos.
70	2022	Redvers, Celidwen, Schultz et al.	Salud planetaria / Conoci- miento indígena (perspectiva)	Académicos, defensores de tierra/agua, ancianos y guardianes de conocimiento in- dígenas definen, mediante métodos de re- colección de conocimiento propios, los deter- minantes de la salud planetaria: tres niveles interconectados (Madre Tierra, interconectan- te, Pueblos Indígenas) y diez determinantes individuales, integrales para la salud y soste- nibilidad del planeta.

71	2022	Walters	Ecología humana / Metodología causal	Propone el “Eventismo Causal Abductivo” (ACE) como alternativa a la teorización sobre relaciones humano-ambiente; aplicado a la reforestación en Santa Lucía, muestra que las “transiciones forestales” resultan de vías causales diversas y eventos contingentes, no de patrones teorizables generales, y aconseja cautela ante la teorización apresurada y la prescripción de política.
----	------	---------	--------------------------------------	---

Nota metodológica: Esta tabla presenta, en orden cronológico, las 71 referencias del manuscrito relacionadas directamente con el campo de uso/cambio del suelo, de un total de 82 referencias citadas. Se excluyeron 11 referencias de carácter puramente metodológico o teórico general sin conexión temática directa con suelo/tierra (Baas & Emmeche 1997; Clarke 2005; Coleman 1986; Corbin & Strauss 2015; Dacin et al. 2002; Hedström & Swedberg 1998; Hofman et al. 2021; Lazer et al. 2021; Pereira et al. 2003; Rasmussen 2005; Roland 2008). Las referencias marcadas con asterisco (*) constituyen casos límite: no mencionan explícitamente „tierra“ o „suelo“ en su título, pero se emplean en el manuscrito en conexión con sistemas socioecológicos, gobernanza de recursos, ecología política, u otros marcos teóricos (cognición ambiental, tecnología de observación terrestre) estrechamente vinculados a la literatura de uso del suelo y con relevancia directa para los argumentos del manuscrito.

Referencias excluidas por no estar directamente relacionadas con el campo de uso de suelo o términos equivalentes (11): Baas & Emmeche (1997); Clarke (2005); Coleman (1986); Corbin & Strauss (2015); Dacin, Goodstein & Scott (2002); Hedström & Swedberg (1998); Hofman et al. (2021); Lazer et al. (2021); Pereira et al. (2003); Rasmussen (2005); Roland (2008).

