

LA DIMENSIÓN SOCIAL DEL CICLO DEL CARBONO EN ECOSISTEMAS TERRESTRES: RETOS PARA SU INTEGRACIÓN

THE SOCIAL DIMENSION OF THE CARBON CYCLE IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS: CHALLENGES FOR ITS INTEGRATION

Antoine Libert-Amico^{1†}, Fernando Paz-Pellat², Sara Covalada-Ocón³, Mariela Fuentes-Ponce⁴, Cristian Reyna-Ramírez⁴, Gontrán Villalobos-Sánchez⁵, Alma S. Velázquez-Rodríguez⁶, Martín Bolaños-González⁷, J. Mauricio Galeana-Pizaña⁸, Marcos Casiano-Domínguez⁹

¹ Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México, México.

² GRENASER, *Campus* Montecillo, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.

³ Kibeltik Clima y Medio Ambiente, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

⁴ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, Ciudad de México.

⁵ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México y Escuela Nacional de Protección Civil *Campus* Chiapas, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

⁶ Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.

⁷ Programa de Hidrociencias, *Campus* Montecillo, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

⁸ Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (Centro GEO), Ciudad de México.

⁹ Universidad para el Bienestar "Benito Juárez García", sede Rayón, San Luis Potosí, México.

† Autor para correspondencia: antoinelibert@hotmail.com

RESUMEN

El estudio del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres ha sido el enfoque de los campos de las ciencias "naturales" o "exactas". Sin embargo, la presión antropogénica es la principal determinante de los cambios en dicho ciclo: la economía, la política e incluso las cuestiones culturales inciden como factores subyacentes en el ciclo del carbono en ecosistemas terrestres. En este escrito abordamos la pregunta: ¿qué aportes pueden contribuir las ciencias sociales al estudio de estos flujos biogeoquímicos? El cambio climático es justamente una expresión de la influencia humana sobre su entorno. El cambio climático plantea severos retos en la respuesta de las sociedades humanas a las consecuencias ecológicas, sociales, políticas y económicas de dicho proceso, por lo que es necesario incorporar la Dimensión Social en las discusiones sobre el ciclo del carbono en sus interacciones, para la consideración de las múltiples dimensiones del impacto del cambio climático en las sociedades y actividades humanas. Esto requiere de consideraciones de incorporar la interdisciplina (y transdisciplina) y la necesidad de poner ciencia a disposición de los actores sociales, grupos de productores agropecuarios, e iniciativas civiles. Para definir una hoja de ruta hacia el siguiente reporte del estado del ciclo del carbono en México por el Programa Mexicano del Carbono, se presentan elementos constitutivos para integrar las aportaciones desde las ciencias sociales y los procesos de incidencia en la toma de decisiones en los estudios del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres.

Palabras clave: *carbono; actores sociales; interdisciplina; escenarios.*

ABSTRACT

Studying carbon cycles in terrestrial ecosystems has historically been the domain of natural and precise sciences. However, anthropogenic pressures are the main drivers of change in the carbon cycle: the economy, policies, and even cultural questions are underlying determinants of carbon cycles in terrestrial ecosystems. In this article we ask what contributions can be derived from social science to the study of these biogeochemical flows?

Climate change is precisely an expression of human influence on the environment. Climate change implies serious challenges in responding to the ecological, social, political and economic consequences of this process. Thus, incorporating a social dimension into carbon cycle discussions is tantamount to consider the multiple dimensions of climate change impacts on society and human activities. This implies including interdisciplinarity (and transdisciplinarity) and recognizing the need to make science available to social actors, agricultural producer's organizations, and civil initiatives. This piece seeks to contribute to a roadmap towards the second report on the state of the carbon cycle in Mexico, by the Programa Mexicano del Carbono, by presenting building blocks for integration the contributions of social science and research-for-action in decision-making on the carbon cycle in terrestrial ecosystems.

Keywords: carbon; social actors; interdiscipline; scenarios.

INTRODUCCIÓN

El sistema climático es un sistema interactivo complejo que consta de la atmósfera, la superficie terrestre, el agua y los seres vivos. El clima es el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar determinado de la superficie terrestre; es decir, una descripción estadística de las condiciones meteorológicas más frecuentes de un lugar o región en cierto periodo de tiempo, normalmente en un intervalo de decenas de años, incluyendo su variabilidad y valores extremos (IPCC, 2013). El clima es producto, en un espacio determinado y en un cierto periodo de tiempo, de la latitud, la altitud, la orientación del relieve y la cercanía a cuerpos de agua.

La variabilidad del clima se refiere a los cambios en las condiciones medias que pueden suceder en cualquier momento y sitio del planeta. Esta variabilidad es por lo más “natural” y se ha expresado a través de la historia del planeta en las diversas edades de hielo derivadas de las variaciones en la órbita de la Tierra y la deriva continental, entre otros; así como por variaciones en la irradiancia solar, aerosoles volcánicos o el fenómeno interanual conocido como la Oscilación del Sur “El Niño”.

Mientras que la variabilidad es una característica endógena del clima, el cambio climático hace referencia a una externalidad antropogénica. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define el cambio climático como: “cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial y que viene a

añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (ONU, 1992). La CMNUCC atribuye claramente el cambio climático a las actividades humanas que emiten Gases de Efecto Invernadero (GEI) y alteran la composición atmosférica, de los cuales el de mayor importancia es el CO₂, siendo responsable del 66% del incremento en el forzamiento radiactivo medido de 1990 a 2017 (Butler y Montzka, 2018).

El cambio climático, entendido como el estrés humano sobre la variabilidad climática, ilustra el vínculo entre las acciones sociales y los fenómenos naturales. Ante el escenario incierto que conlleva el cambio climático, se espera que estudios interdisciplinarios de los flujos del ciclo de carbono y de los determinantes detrás de dichos flujos y sus actores, puedan aportar insumos a la apremiante tarea de mitigar el cambio climático al reducir las emisiones y aumentar los almacenes de carbono.

A la luz de las discusiones sobre el cambio climático, el vínculo estrecho entre las actividades humanas y el ciclo de carbono ha sido el centro de atención de una cantidad creciente de investigaciones. Discutir la dimensión social del ciclo de carbono implica reconocer la relación directa entre el balance de carbono y las actividades humanas, junto con los factores políticos, económicos y culturales que inciden en la toma de decisiones sobre los procesos de producción, consumo y desecho. La toma de decisiones humanas incide directamente en el balance del ciclo de carbono.

La dimensión social del ciclo de carbono en ecosistemas terrestres en México es evidente al

reconocer las particularidades del país, sus tendencias demográficas, actividades productivas, económicas y diversidad de iniciativas sociales. La población urbana representa el 79% de la población total en el 2020 (INEGI, 2020), lo que implica que México comparte la realidad de otros países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en la cual las actividades de consumo en la ciudad determinan una porción importante de las emisiones. A su vez, las viviendas particulares habitadas en las que sus ocupantes utilizan leña o carbón para cocinar representan el 12.4% del total de viviendas particulares en México (INEGI, 2020). Al mismo tiempo, las actividades agropecuarias siguen siendo fuente importante de emisiones, particularmente la ganadería, con el 10.1% del total de emisiones de GEI del país (INECC, 2015). Más del 65% del territorio nacional se encuentra por encima de los 1 000 metros sobre el nivel del mar, mientras que el 47% de esta superficie tiene pendientes superiores a 27%, por lo cual la agricultura de ladera representa un desafío clave para los almacenes de carbono en suelos, que son los almacenes más importantes de carbono en ecosistemas agropecuarios (Banco Mundial, 2019). La mayor parte del almacén terrestre de carbono en México se encuentra en sus bosques y selvas. Cerca de la mitad del país está ocupada por ejidos y comunidades agrarias que poseen alrededor de dos tercios de los bosques de México, lo que convierte a los dueños de la propiedad social en actores clave para la implementación de estrategias de reducción de emisiones y aumento de los almacenes de carbono.

La dimensión social del ciclo del carbono y sus interacciones

El uso y manejo del territorio que hacen las sociedades humanas, determina el ciclo del carbono. Aunque sea un tema marginal en las investigaciones de las ciencias exactas, la consideración de la manera en la cual las actividades humanas inciden en los componentes principales del ciclo de carbono, se vuelve necesario para poder modificarlo y disminuir emisiones en el marco del cambio ambiental global. Malone *et al.* (2018) hablan de la necesidad de reconocer el carbono ‘enclavado’ o ‘inherente’ (*embedded carbon*, en inglés) en las actividades humanas para informar el diseño de políticas públicas que incidan en el balance del ciclo de carbono.

Bases conceptuales para el estudio de la dimensión social del ciclo de carbono

La literatura científica expresa un incrementado interés en reconocer la dimensión social en las ciencias exactas. Tres postulados conceptuales inspiran un reconocimiento de las aportaciones potenciales de las ciencias sociales al estudio del ciclo de carbono:

- a) Interdisciplina: interdependencia y vinculación entre componentes de los sistemas (sociales y ecológicos). La interdisciplina propone puentes entre ciencias sociales y ciencias naturales con el fin de entender mejor los problemas complejos (problemas a los cuales hay varias causas y varias consecuencias) (García, 2006).
- b) Territorio: entendido como la apropiación social de los ecosistemas, este concepto de las ciencias sociales expresa la relación intrínseca entre sociedad y naturaleza, cuando las sociedades humanas transforman y dotan de contenidos y significados el territorio natural (Santos, 2000).
- c) Participación de los actores sociales: cambios en la forma de gobernar (conceptos como descentralización y gobernanza), y una nueva relación entre quien realiza la investigación y quien es el enfoque de los estudios (investigación participativa). Sea en la gobernanza o en la investigación, los procesos de arriba-hacia abajo son cada día vistos con menos legitimidad, mientras se busca fomentar la participación de los actores involucrados en las decisiones que atañen sus entornos y formas de vida (Pretty, 1995).

La dimensión social en el ciclo del carbono refiere a un amplio y diverso número de estudios que integran las prácticas y decisiones humanas de los flujos de carbono. Aunque ha sido reconocido en estudios internacionales sobre la dinámica del carbono y gases de efecto invernadero (GEI), es un campo de investigación joven en México; de hecho, 2019 fue el primer año en el cual el reporte del ciclo del carbono en el país incluyó capítulos sobre la dimensión social (Libert-Amico *et al.*, 2019). Para contribuir a la consolidación de una agenda futura de investigación, se describen a continuación cuatro ejes temáticos de los estudios en México de la dimensión social del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres.

1. *Flujos de carbono en ecosistemas terrestres y monitoreo participativo.* A través de redes internacionales y la colaboración entre universidades y centros de estudios en el país, el conocimiento científico de los flujos del ciclo de carbono en ecosistemas terrestres de México ha crecido en años recientes, aumentando el entendimiento de los diversos flujos y reduciendo el grado de incertidumbre.

Persisten vacíos en la información y limitaciones en la interpretación de los datos. Friedlingstein *et al.* (2021) estiman que a nivel global los ecosistemas terrestres capturan hasta el 29% del carbono atmosférico liberado por las actividades antropogénicas. Los sitios de muestreo en ecosistemas terrestres en México han confirmado esta tendencia (Paz-Pellat *et al.*, 2019c). Sin embargo, gran parte de dichos ecosistemas terrestres se encuentran bajo algún tipo de manejo o en un estadio de sucesión diferente al de un bosque maduro, por lo cual se requieren estudios más detallados de los diversos tipos de manejo, políticas locales del territorio, así como la dinámica de los cambios de uso del suelo sobre los flujos de carbono en ecosistemas de las comunidades.

En el proceso de establecer una línea base de emisiones y almacenes de carbono, se ha movilizad la colaboración de amplios sectores de la sociedad, trabajando en coordinación con institutos de gobierno y con la construcción de acuerdos con dueños y posesionarios de los sitios de estudio. Aunque persisten problemas como el desuso de sitios de muestreo equipados ante la falta de financiamientos para la investigación, el aumento en la cantidad de sitios de muestreo de los flujos de carbono ha sido lentamente acompañado de un incremento en la participación en los muestreos. Primeramente, por una cantidad creciente de estudiantes y técnicos provenientes de diferentes centros de estudio de nuestro país. Segundo, por un aumento en la participación de actores sociales, asociaciones civiles y comunidades propietarias de los terrenos, donde se encuentran los sitios de muestreo en las mismas actividades científicas de muestreo. En lo particular, los emergentes mercados del carbono han incidido en las tendencias observadas.

Mientras que las discusiones sobre métodos de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) han proliferado en el marco de debates internacionales sobre REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal, más el aumento de los almacenes de carbono y el manejo sustentable de los bosques), la participación de comunidades locales en

dichos procesos científicos ha sido limitada (Villaseñor *et al.*, 2016). Investigaciones recientes apuntan hacia la importancia de la participación local en los procesos de monitoreo, no sólo por el proceso social, sino también por la precisión de los datos que se pueden generar (Hawthorne y Boissiere, 2014). A su vez, existen barreras a la integración de perspectivas comunitarias locales en reportes hacia la comunidad internacional que deben acatarse a lineamientos precisos, con actores locales invitando a una visión más amplia que los requisitos científicos (McCall *et al.*, 2016). Proyectos piloto de participación comunitaria en las actividades de muestreo de flujos de carbono han asentado las bases para la participación de sectores no-académicos de la sociedad en las actividades de MRV de las emisiones, para tener una apropiación y empezar a generar soluciones desde lo local y co-diseñar procesos de generación de conocimientos que van más allá de las disciplinas científicas (transdisciplina).

2. *Escenarios futuros y condiciones socioeconómicas.*

Los modelos climáticos son representaciones matemáticas de procesos físicos, químicos y biológicos en el sistema climático de la Tierra. El uso de estos modelos de computación y escenarios futuros ha sido una herramienta clave para explorar las consecuencias de las trayectorias futuras con relación a las emisiones de carbono y las concentraciones atmosféricas de GEI. Basados sobre todo en los escenarios desarrollados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), un grupo de investigadores desarrolló las “Trayectorias de concentración representativas” (RCPs, *Representative Concentration Pathways*), seleccionando cuatro rutas posibles de escenarios futuros, los cuales han jugado un papel central en la investigación del ciclo del carbono. Sin embargo, dichos escenarios se limitan a calcular el forzamiento radiactivo de los GEI acumulados en la atmósfera en el cambio climático global, pero sin incluir las condiciones socioeconómicas y los procesos sociales que están detrás las emisiones antropogénicas locales o regionales.

Investigaciones recientes en el cambio global reconocen la premura de contar con escenarios socioeconómicos para comprender mejor las trayectorias alternativas que pueden derivar en una reducción de emisiones (van Ruijven *et al.*, 2014). La integración de consideraciones sociales podría permitir analizar cómo el desarrollo puede facilitar

u obstaculizar respuestas de gestión del riesgo tales como la mitigación de GEI, la adaptación al cambio climático y el desarrollo sustentable (Malone *et al.*, 2018). La propuesta de trayectorias socioeconómicas compartidas (*Shared Socioeconomic Pathways* o SSP; O'Neill *et al.*, 2017) constituye un ejemplo de un escenario complementario a los RCP que integre dichas consideraciones y, aunque se publicaron inicialmente en 2016, recién ahora están comenzando a usarse para la próxima ronda de modelado climático, conocido como Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados versión 6, o CMIP6, en revisión para el sexto informe de evaluación del IPCC. De hecho, el sexto informe de evaluación del IPCC emplea una nueva taxonomía para los escenarios futuros, que derivan de una combinación de los RCP con los SSP (IPCC, 2006). El reporte de la ciencia física del IPCC emplea cinco escenarios de emisiones que cubren una diversidad de desarrollos futuros de los determinantes antropogénicos del cambio climático, según la literatura científica (IPCC, 2006).

Por su parte, los modelos de estados y transiciones o METs, aplicados en los últimos años en los estados de Chiapas y el estado de México por parte del Programa Mexicano del Carbono (Covaleda *et al.*, 2016, 2017, 2018), representa un primer acercamiento a la inclusión de consideraciones socioeconómicas y de gestión en los escenarios futuros en México. Los METs son modelos ecológicos no lineales que definen trayectorias de evolución de ecosistemas, tales como la transición de bosque primario a pastizales (deforestación), o de área agrícola a bosque secundario (restauración) (Covaleda *et al.*, 2016). La integración de datos económicos sobre los costos de los cambios de uso del suelo, tanto para el propietario como para el balance de carbono, permite reconocer las prácticas de manejo y su influencia en los flujos de carbono, vislumbrando así la dimensión social del carbono.

3. Gobernanza y toma de decisiones. Estudios de la gobernanza de los paisajes y la toma de decisiones en la gestión del territorio han aumentado en años recientes en México, particularmente en el marco de las acciones tempranas REDD+. Las investigaciones sobre gobernanza se enfocan en analizar los diferentes actores (gubernamentales y no) que participan en los procesos de toma de decisiones (Martínez y Espejel, 2015). Algunos estudios recientes abordaron particularmente la gobernanza de los cambios de uso de suelo y los incentivos para elegir un uso de suelo encima de

otro. Por ejemplo, un análisis reciente de CIFOR en México encontró que persiste el centralismo en la toma de decisiones, con limitaciones a la participación de actores locales y subnacionales en la gestión de iniciativas para reducir emisiones (Trench *et al.*, 2018).

Las discusiones sobre la reducción de las pérdidas forestales y el desarrollo bajo en emisiones han creado arreglos innovadores de gobernanza (Libert-Amico y Trench, 2016), tales como las juntas intermunicipales de medioambiente que se consolidaron en el marco de acciones tempranas REDD+ en Jalisco, Yucatán, y Quintana Roo con la participación de gobiernos municipales y comités de usuarios locales (Libert-Amico *et al.*, 2018). Según Trench *et al.* (2018), los ejidos y las comunidades agrarias son un actor clave de la gobernanza de los bosques y selvas, lo que ayuda a que puedan ocupar un lugar central en la implementación de trayectorias alternativas de emisiones futuras. Por su parte, las organizaciones forestales como las asociaciones regionales de silvicultores y las comunidades forestales se perfilan como nuevos actores en la gobernanza de los flujos de carbono en ecosistemas terrestres en el país. Adicionalmente, estudios recientes confirman que los proyectos de gestión del carbono con comunidades forestales no podrán trascender hasta que integren la perspectiva de género en las estrategias ante el cambio climático y reconozcan el papel de la mujer en la gestión del territorio (Ayala-Carrillo *et al.*, 2016).

Un desafío importante para los estudios de gobernanza en México ha sido la traducción de dichos estudios en recomendaciones para políticas públicas efectivas (Libert-Amico y Paz-Pellat, 2018). Los impactos de los cambios ecológicos en las sociedades humanas (como el cambio climático, la degradación de los ecosistemas y la pérdida de biodiversidad) rinden aún más importante la colaboración entre gobiernos y científicos para la toma informada de decisiones. Las investigaciones de la gobernanza tienen pendiente aportar recomendaciones y propuestas para construir puentes entre ciencia y políticas públicas.

4. Buenas prácticas y agricultura climáticamente inteligente. Mientras que los estudios de la dimensión social del ciclo del carbono en países de la OCDE se enfocan en las decisiones de consumo, la energía y el impacto de la urbanización en el balance de carbono (la llamada *agenda gris*), los estudios del ciclo de carbono en México han otorgado un lugar central a

las emisiones del sector agropecuario. En México, las actividades agropecuarias constituyen la tercera causa de generación de emisiones de gases de efecto invernadero, con un 12% del total de emisiones, correspondientes en su mayor parte a la fermentación entérica, el manejo del estiércol y el uso de fertilizantes (Saynes-Santillán *et al.*, 2016). En 2014, las emisiones totales de GEI del sector agropecuario (sin contar el cambio de uso del suelo) en México representaron 80 Tg_e (Hristov *et al.*, 2018). Dimensiones extra-locales como las tendencias y preferencias de consumo de la sociedad nacional e internacional inciden en el balance del carbono en áreas agrícolas. Incentivos y políticas regionales e internacionales pueden tener una influencia considerable en la transformación de los espacios agropecuarios, por lo cual estudios recientes han enfatizado el papel de los agro-ecosistemas en la provisión de servicios ecosistémicos como captura de carbono y mantenimiento de biodiversidad (FAO, 2019; IPBES, 2019).

Proyectos pilotos para la reducción de emisiones en sistemas agrícolas y para lo que se ha denominado una agricultura climáticamente inteligente han emergido en el país. Estudios recientes destacan la importancia de la implementación de prácticas de manejo para minimizar la emisión de gases de efecto invernadero durante el cambio de uso del suelo en sistemas agrícolas y ganaderos (Díaz-Solís *et al.*, 2016; Saynes-Santillán *et al.*, 2016). Por ejemplo, la campaña de investigación-acción “Una REDD+ para Salvar la Sombra” (http://pmcarbono.org/pmc/proyectos/REDD_para_Salvar_la_Sombra_Sierra_Madre_Chiapas.php) ha movilizó los estudios del ciclo de carbono en sistemas agroforestales para cuantificar los servicios ecosistémicos y las capacidades de adaptación al cambio climático que proveen los cafetales bajo sombra de la Sierra Madre de Chiapas.

A su vez, las propuestas nacionales de frente a la convocatoria internacional de la iniciativa 4 por 1 000 (Paustian *et al.*, 2016; Minasny *et al.*, 2017), para el aumento en 0.04% anual del carbono en los suelos, reconocen el papel de las buenas prácticas en el balance de carbono de los espacios agropecuarios del país. La amplia experiencia de centros de investigación del país en la ciencia de los suelos establece las bases para colaboraciones entre gobierno y academia para conservar y mejorar los almacenes de carbono en suelos.

Consideraciones para la incorporación de la dimensión social en el ciclo del carbono

Para la incorporación de la dimensión social en el estudio del ciclo del carbono y el desarrollo de políticas públicas es necesario considerar lo siguiente:

Interdisciplina (y Transdisciplina). Fomentar redes y equipos interdisciplinarios para abordar las diversas dimensiones sociales del ciclo de carbono. Concretamente, financiar proyectos de investigación interdisciplinarios, con miembros de facultades o centros de investigación que representan diversas disciplinas y formaciones científicas, puede aportar a reconocer la dimensión social del ciclo del carbono.

Poner ciencia a disposición de los procesos sociales, productivos y las iniciativas civiles. Tal como el ejemplo de la campaña de investigación-acción “Una REDD para Salvar la Sombra”, movilizar las herramientas de la mejor ciencia disponible sobre los flujos de carbono para darle valor añadido a los productos sustentables de cooperativas y organizaciones de producción. Si bien la cantidad de estimaciones de emisiones ha aumentado, junto con discursos de la llamada *economía verde*, aún hay pocas propuestas de consolidación o participación en nuevos mercados verdes como los sistemas de bonos de carbono, mecanismos de desarrollo limpio y propuestas de estrategias de desarrollo bajo en emisiones. Se recomienda vincularse a las necesidades de investigación de iniciativas sociales (como, por ejemplo, estimar el balance de carbono en actividades de manejo forestal y productos forestales no maderables). Esto implica proyectos colaborativos de investigación, donde organizaciones sociales puedan ver sus necesidades de información reflejadas en las investigaciones académicas para satisfacer sus necesidades socioeconómicas.

Este cambio de paradigma invita a la co-creación de mecanismos de colaboración e innovación entre centros de investigación, grupos de usuarios, y productores agropecuarios para responder a las necesidades locales y construir trayectorias hacia la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos (Chazdon *et al.*, 2020). Este tipo de métodos son cruciales para que la pequeña producción agrícola pueda responder al aumento global de demanda por alimentos sin dañar la base de recursos naturales de la producción agrícola (Willett *et al.*, 2019).

Hacia el segundo reporte del estado del ciclo del carbono en México

El desarrollo del Primer Reporte del Estado del Ciclo del Carbono en México: Agenda Azul y Verde (Paz-Pellat *et al.*, 2019a) fue orientado a la caracterización de la información y conocimiento mexicano en las diferentes áreas temáticas del ciclo del carbono y sus interacciones, incluyendo las bases para una estrategia de participación de la dimensión social en el ciclo del carbono en ecosistemas terrestres (Libert-Amico *et al.*, 2019). El Segundo Reporte, planeado para el periodo 2023/2024, tiene como objetivo la síntesis y modelación como medio para generar escenarios asociados al cambio climático y a las intervenciones antropogénicas, por lo que es necesario incorporar la dimensión social para definir estrategias de intervención, así como sus costos, beneficios y obstáculos.

Avanzar en la ciencia del ciclo del carbono y sus interacciones implica realizar ejercicios de generación de escenarios que permitan evaluar impactos en función de diferentes dimensiones (productores/actores locales, intereses gubernamentales, política internacional, gobernanza, seguridad y soberanía alimentaria, pobreza, equidad, género, entre otros). Esto implica sintetizar la información y conocimiento disponible para generar modelos de la dinámica del carbono, tal como los modelos de estados y transiciones (Covaleda *et al.*, 2019a) y otras métricas asociadas a la dimensión social y económica, entre otras.

Para tener una perspectiva general de los elementos constitutivos de una posible estrategia de implementación de las acciones acopladas a ciencias naturales y ciencias sociales orientadas al segundo reporte del estado del ciclo del carbono en México, en

lo siguiente se discuten con relativo detalle, para tener una base común de discusión que permita mejorarlas.

Generación de escenarios

El disponer de información actual acerca de la situación del carbono (interés principal) en una determinada región o ecosistema es muy útil dado que se pueden evaluar las contribuciones que los ecosistemas hacen a las personas y la sociedad, tanto en el presente como a futuro, aportando elementos para favorecer una adecuada planeación estratégica territorial entre las metas ambientales y de desarrollo. También puede contribuir a identificar proveedores y beneficiarios del carbono, así como la magnitud de los beneficios que reciben y, por tanto, analizar la factibilidad de diseñar políticas y mecanismos de financiamiento que generen incentivos para la conservación e incremento de almacenes. Sin embargo, el poder proyectar la información relativa al carbono en el tiempo, permite tener un panorama de lo que depara el futuro y, en función de ello, tomar decisiones en el presente; esto es la función de los *escenarios* proyectados (Paz *et al.*, 2014). Un escenario podría definirse como “una historia que describe posibles estados futuros”, explorando aspectos o posibilidades sobre porvenires que son inciertos.

En función de los objetivos, las metas y las preguntas a responder, es posible plantear distintos tipos de escenarios, pero, en términos generales, McKenzie *et al.* (2012) identifican cuatro categorías genéricas: escenarios de intervención, escenarios exploratorios, escenarios de visión y proyecciones futuras. A estos tipos se podría añadir uno más: los escenarios potenciales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diferentes tipos de escenarios asociados al carbono, susceptibles de plantearse. Fuente: Modificado de McKenzie *et al.* (2012).

Escenario	Metas perseguidas	Preguntas planteadas	Guión
Intervención	Seleccionar acciones de intervención considerando varias alternativas	¿Cuáles son los caminos a seguir para alcanzar los futuros que queremos?	Diseño de políticas, planes y proyectos
	Identificar intervenciones efectivas y equitativas que alcancen las metas planteadas		

Cuadro 1. Diferentes tipos de escenarios asociados al carbono, susceptibles de plantearse. Fuente: Modificado de McKenzie et al. (2012) (Continuación).

Escenario	Metas perseguidas	Preguntas planteadas	Guión
Exploratorio	Anticipar circunstancias futuras inciertas	¿A dónde puede llevarnos el futuro? ¿Qué podemos hacer para prepararnos?	Futuros posibles pero desconocidos
Visión	Alcanzar una visión común Determinar cómo alcanzar un futuro deseado Resolver problemas entre actores	¿Qué futuro deseamos?	Conceptualización de los futuros deseables e indeseables por parte de los actores.
Proyecciones futuras	Evaluar las consecuencias de políticas actuales Comparar escenarios con respecto a una línea de base Identificar riesgos y oportunidades	¿Qué futuro nos espera?	Representación del futuro esperado si no se realizan nuevas intervenciones
Potencial	Conocer la capacidad máxima de proveer carbono por parte de los ecosistemas en caso de llevarse a cabo las acciones adecuadas	¿Cuál es el estado ideal a futuro para el carbono?	Representación ideal de unos ecosistemas sanos y funcionando a pleno rendimiento

Tomando como base el objetivo general del Segundo Reporte del Estado del Ciclo del Carbono en México, el tipo de escenarios que pueden contribuir a lograr este objetivo es el de escenarios de intervención, ya que tiene como fin planificar políticas y programas públicos.

Los escenarios de intervención pueden utilizarse como herramienta de planificación y diseño de políticas públicas, planes y programas de manejo, ya que permite comparar el desempeño de distintas alternativas de implementación de políticas públicas y decisiones de manejo. Estos escenarios pueden ayudar a resolver

preguntas del tipo como: ¿Qué implicación tiene sobre el carbono el implementar un determinado tipo de programa o proyecto en un área concreta? ¿Cuál de las alternativas planteadas tiene un mayor impacto sobre el carbono?, ¿Cuál es la alternativa más costo-efectiva? De esta forma se pueden seleccionar las opciones que más se adecuen a las metas y objetivos perseguidos.

Para conseguir implementaciones adecuadas y eficientes enfocadas a la consecución de las metas y objetivos planteados en relación al carbono y otras políticas asociadas, se propone seguir una serie de pasos:

- a) Definir el área de influencia de las actividades que se pretenden planear y su horizonte temporal.
- b) Describir el ambiente de la zona de interés, con base en la recopilación y análisis de información disponible en cuanto a la vegetación existente, usos del suelo, información económico-financiera asociada a los usos del suelo e información sobre variables asociadas al carbono.
- c) Identificar la problemática ambiental (asociada a la pérdida de carbono) y socio-económica.
- d) Tener en consideración a los actores involucrados, ya que el ciclo del carbono se encuentra relacionado con actores sociales de diferentes maneras: unos pueden jugar un papel fundamental en su conservación y mejora, o pérdida en el peor de los casos; otros se benefician o se ven perjudicados de estas actuaciones y otros son los responsables de la gestión de los mismos.
- e) Plantear los objetivos y metas de política ambiental y socio-económica (en este punto se pueden considerar los ordenamientos ecológico territoriales, planes de gestión de cuencas, programas de manejo de áreas naturales protegidas, etc.).
- f) Definir las actividades que se pueden plantear para abordar la problemática de la zona (planteamiento de escenarios).
- g) Caracterizar a los actores que intervienen en los escenarios.
- h) Priorizar intereses: Conviene hacer un ejercicio de reflexión para jerarquizar la importancia de diferentes componentes y subcomponentes ambientales y socio-económicos involucrados en la implementación de las actividades planteadas. Por ejemplo, en un área determinada ¿interesa más potenciar el incremento de los almacenes de carbono? ¿o la calidad del agua? ¿o ambas cosas?; en cuanto a objetivos socio-económicos: ¿se busca garantizar la seguridad alimentaria? ¿generar empleo? Se pueden plantear diferentes tipos de actuaciones y comparar el efecto de las mismas sobre el carbono y variables socio-económicas (planteamiento de escenarios).
- i) Generar escenarios y análisis de la información: en este punto es muy recomendable utilizar herramientas que permitan entender cómo funciona el ciclo del carbono en una región, hidrológica o de otro tipo y, cómo pueden ser afectados frente a cambios en el uso del suelo o adopción de diferentes prácticas de manejo, así como las implicaciones socio-económicas de las distintas opciones, tomando en cuenta los criterios de priorización utilizados.
- j) Análisis de resultados: jerarquización y valoración de las distintas opciones de acciones de implementación (análisis multicriterio, que el incluya el análisis multiobjetivo).
- k) Toma de decisiones sobre acciones de implementación.

Las consideraciones a tener en cuenta al diseñar escenarios son:

- Relevancia: conviene asegurarse de que los escenarios están alineados con los problemas y temas de interés para los interesados / actores / poseedores / dueños / apropiantes (stakeholders) y tomadores de decisiones.
- Participación: es muy recomendable (en la medida de lo posible) involucrar diferentes tipos de actores en el diseño de escenarios y valoración de impactos sobre el carbono. Abordar el diseño de escenarios con técnicas participativas puede contribuir a generar consenso, apropiación del proceso, legitimación de los resultados, identificación de conflictos, establecimiento de una plataforma de diálogo entre las diferentes partes interesadas, etc.
- Plausibilidad: los escenarios han de ser realistas, tienen que representar futuros posibles.
- Entendibles: las personas que participan en el diseño de los escenarios y las que van a utilizarlos en la toma de decisiones, tienen que poder entender claramente los resultados arrojados por los escenarios planteados.
- Científicamente creíbles: como requisito imprescindible, la metodología e información empleada para el desarrollo de escenarios ha de tener una sólida base científica.

- Completos: los escenarios han de incluir todos los aspectos relevantes que pueden conducir a cambios futuros en el flujo de servicios ecosistémicos.
- Iterativos: los escenarios han de ser revisados, refinados y actualizados con el tiempo.
- Creativos: el planteamiento de escenarios es también un proceso creativo a través del cual se pueden contrastar diferentes perspectivas y maneras de abordar distintos problemas.

Modelos de estados y transiciones

Los modelos de estados y transiciones (METs) se introdujeron e implementaron por primera vez en Chiapas por el PMC (Paz *et al.*, 2012) como un medio para analizar la ejecución del esquema REDD+.

Los METs constan de tres elementos: estados, transiciones y umbrales. Cada estado representa un tipo de vegetación / estado sucesional / uso del suelo característico en el área de estudio, expresado por un conjunto específico de comunidades vegetales. Las transiciones, por su parte, se refieren a trayectorias de cambio que tienen su origen en perturbaciones naturales o antrópicas (acciones de manejo). Por último, los umbrales señalan puntos en el espacio y tiempo que indican que se ha sobrepasado la capacidad

de *autoreparación* y, en ausencia de restauración activa, se forma un nuevo estado y también un nuevo umbral. Como ejemplo se presenta a continuación un MET genérico simplificado para el estado de Chiapas (Figura 1).

Los METs son sencillos de entender y explicar, ya que simplemente presentan en forma gráfica los escenarios que se pueden plantear: de un estado actual (caja en la Figura 1) a un estado futuro (otra caja), pero solo de actividades que sean viables (flechas de conexión en la Figura 1).

En la parte de la dinámica del carbono, los METs se parametrizan en forma simple, requiriéndose solo el valor de los almacenes en estado estacionario (cambios que llevan décadas de ser haber sido implementados), reduciendo la complejidad del problema. Los METs se definen con los datos del carbono (inicial y final) y el tiempo de paso entre ambos estados. Para la trayectoria de la dinámica de cambio de los almacenes de carbono es necesario conocer el tiempo en el que la tasa de cambio presenta su valor máximo (Covalada-Ocón *et al.*, 2019a). Por ejemplo, para el almacén de biomasa aérea, este valor corresponde al tiempo en donde la cobertura aérea de la vegetación alcanza su valor máximo (3-6 años). Aunque es posible implementar modelos más complejos con bases de procesos, los METs son simples y parametrizables con información disponible en México, lo que los hace operativos.

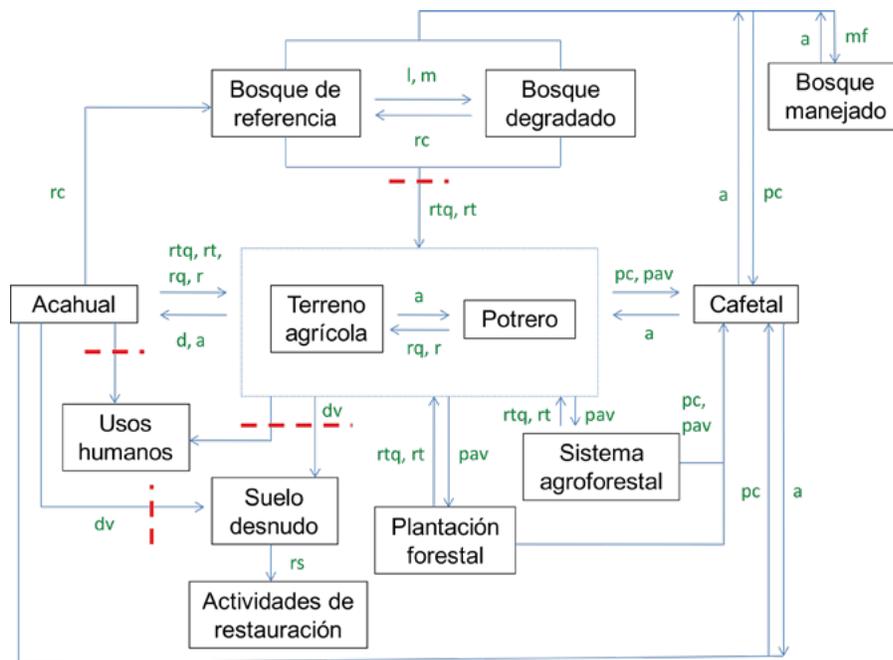


Figura 1. Modelo de estados y transiciones (MET) genérico para Chiapas. Fuente: adaptado de Covalada *et al.* (20109b). Estados: Cuadros (tipos de vegetación/ usos del suelo); Transiciones (letras verdes): a: abandono; d: descanso; dv: deslave; ed: eliminación del descanso; l: extracción de leña; m: extracción de madera; mf: manejo forestal; pav: plantación de árboles de valor; pc: plantación de café; r: roza; rc: recuperación; rq: roza-quema; rs: restauración; rt: roza-tumba rtq: roza-tumba-quema; Umbrales: Líneas rojas discontinuas.

Planteamiento y generación de escenarios de intervención

Los escenarios de intervención pueden codiseñarse tanto por productores y usuarios de la tierra, como por tomadores de decisiones o por representaciones de ambos grupos de actores. Lo ideal, en cualquier caso, es hacerlo (en la medida de lo posible) a través de un proceso participativo.

Una vez delimitada la zona sujeta a planeación (por ejemplo, una subcuenca), así como el horizonte temporal de dicha planeación (por ejemplo 30 años) y, partiendo del conocimiento del medio ambiente y el estado socio-económico de dicha región, se puede definir la problemática socioambiental que se pretende resolver.

Como ejemplo, en una determinada subcuenca se han detectado problemas relacionados con: (a) apertura

de zonas de bosque para su utilización con fines agropecuarios; y (b) problema de erosión y pérdida de fertilidad edáfica, asociado a la práctica de agricultura de roza-tumba-quema, y sus variantes, en laderas. Adicionalmente (continuando con el ejemplo), se trata de una región en donde el crecimiento poblacional al interior de los ejidos, o propiedades privadas, causa una creciente presión sobre los recursos, por lo que, para evitar un mayor deterioro ambiental se buscan sistemas productivos sustentables que generen mayores rendimientos para los productores, particularmente para el café, ya que muchos de los habitantes de la región se dedican a dicha actividad, entre otras.

En la Figura 2 se presenta el contenido de la hoja “Planteamiento”, que pretende ayudar a centrar ideas en la fase inicial del diseño de escenarios de intervención en las subcuencas analizadas.

Sub-Cuenca	Coatán
Horizonte temporal de planeación	
Periodo 1 (poner año final del periodo)	2017
Periodo 2 (poner año final del periodo)	2022
Equipo encargado del planteamiento de escenarios	Comité directivo de Ecoschas
Problemática	
Problemática ambiental	
General	<ul style="list-style-type: none"> · Apertura de zonas de bosque para su utilización con fines pecuarios · Problema de erosión y pérdida de fertilidad edáfica, asociado a la práctica de agricultura de roza-tumba-quema en laderas
Cuenca alta	
Cuenca media	
Cuenca baja	
Problemática socio-económica	El crecimiento poblacional en el interior de los ejidos está causando presión creciente sobre los recursos
Productores	
Tipo de productor 1	Ganaderos (pequeños productores: 5-10 cabezas), practican ganadería de montaña, tienen pequeñas parcelas agrícolas
Tipo de productor 2	Cafetaleros: parcelas de 1-2 ha, tienen pequeñas parcelas agrícolas
Objetivos de planeación	
Objetivo 1	Potenciar sistemas productivos sustentables que generen mayores rendimientos para los productores
Objetivo 2	Potenciar sistemas productivos que, a su vez, contribuyan a conservar y mejorar los SE, particularmente carbono y agua
Objetivo 3	
Selección de estados iniciales	
Estado inicial (superficie) (Hoja "Superficies")	DESCRIPCIÓN (Hoja "Diccionario clases INEGI")
PC	PASTIZAL CULTIVADO
TP	AGRICULTURA DE TEMPORAL DE CICLO PERMANENTE
TA	AGRICULTURA DE TEMPORAL DE CICLO ANUAL
Selección de estados finales	
Estado final INEGI (Hoja "Superficies")	
PC Mej.	PASTIZAL CULTIVADO MEJORADO
TP Mej.	AGRICULTURA DE TEMPORAL DE CICLO PERMANENTE MEJORADO
TA Mej.	AGRICULTURA DE TEMPORAL DE CICLO ANUAL MEJORADO
En la Hoja "Diccionario usos suelo" puede verse la equivalencia de los usos del suelo de INEGI con los usos del suelo locales considerados (estados finales de los METs).	

Figura 2. Vista de la hoja “Planteamiento” del formato para planteamiento de escenarios de intervención.

Continuando con el ejemplo, se decide proponer la implementación de sistemas silvopastoriles para permitir un uso más racional del suelo en las actividades pecuarias, incorporar prácticas mejoradas en los sistemas de producción de café y, con relación a la problemática agraria, la implementación de sistemas

mejorados de producción de maíz que eviten la pérdida de fertilidad edáfica y erosión en las laderas. En el Cuadro 2 se presentan los proyectos planteados, con la superficie que se pretende abarcar en cada actividad y el horizonte temporal correspondiente.

Cuadro 2. Proyectos planteados (con su horizonte temporal) para abordar la problemática ambiental en la subcuenca ejemplo.

Estado inicial	Estados finales	
	2017	2022
Ganadería extensiva	300 ha de la superficie bajo ganadería extensiva reconvertidas a sistemas agrosilvopastoriles.	
Café natural	500 ha de café con prácticas mejoradas.	
Maíz de temporal		200 ha de superficie bajo sistemas tradicionales de cultivo de maíz reconvertidas a sistemas mejorados.

Utilizando la información de la región se identifican los estados iniciales y finales (*sensu* INEGI) y los estados finales equivalentes de los METs, para cada proyecto (ver Cuadro 3). Por ejemplo, para evaluar el proyecto que pretende transformar 300 ha de ganadería extensiva en sistemas silvopastoriles, se utiliza el estado inicial de INEGI denominado pastizal cultivado (PC) y propone el cambio 300 ha de su

superficie a la clase pastizal cultivado mejorado (PC Mej). Del conocimiento local de la vegetación de la región, asociado a las clases del INEGI (Cuadro 3), el cambio de PC a PC Mej no implica un avance en la sucesión vegetal (permanece en estados de no bosque). Las posibilidades, en este caso, son: pastizal cultivado riego, sistema silvopastoril de doble propósito tropical, sistema silvopastoril de engorda tropical.

Cuadro 3. Estados iniciales y finales de INEGI para los proyectos planteados en la subcuenca ejemplo.

Tipo de proyecto	Estado inicial INEGI	Estado final INEGI
Ganadería extensiva a sistemas silvopastoriles	PC	PC Mej.
Café natural a sistemas mejorados	TP	TP Mej.
Maíz de temporal a sistemas mejorados	TA	TA Mej.

Clases INEGI: PC: pastizal cultivado; TP: agricultura de temporal de ciclo permanente; TA: agricultura de temporal de ciclo anual; Mej.: mejorada.

Una vez conocidos los estados iniciales y finales de INEGI para cada tipo de proyecto y las superficies que se quieren transformar, se genera la matriz de cambios

en las superficies de la subcuenca, tal como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Extracto de la matriz de superficies de estados iniciales y finales (clases de INEGI) para la subcuenca del ejemplo.

	METs	INEGI	Uso del Suelo	Estado Final (superficie)											Superficie Total (has)		
				Superficie Total (has)	Sup. Riesgo Def. (has)	PC		PI		TA		TAP		TP		AH	
						Trad.	Mej.	Trad.	Mej.	Trad.	Mej.	Trad.	Mej.	Trad.		Mej.	Gral.
Estado Inicial (superficie)	BM	3639	85.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	BM/YSa	4982	534.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	BM/YSa	2824	142.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	BP	210	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	BP/YSa	299	53.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	YM	738	49.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	YM/YSa	146	26.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	YT	122	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	YV	100	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	PC	3718	0.0	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	
	PI	548	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	TA	3775	0.0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	200	
	TAP	4621	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	TP	10007	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500	0	0	500	
	AH	3	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	General	Superficie Total (has)	Sup. Riesgo Def. (has)	0	300	0	0	0	200	0	0	0	0	500	0	Totales	

En el Cuadro 4, la columna relativa a la superficie total (ha) se refiere a la superficie que ocupa el uso del suelo en la subcuenca y la superficie en riesgo de deforestación es la superficie promedio esperada por uso del suelo, determinada usando las probabilidades de deforestación disponibles.

Una vez definida la superficie a considerar para cada tipo de proyecto, se definen los años en los que se planea llevar a cabo las actuaciones. Siguiendo el ejemplo, en el año 2017 se pretenden implementar las prácticas mejoradas asociadas a los pastizales cultivados y café y en el 2022 las prácticas agrícolas mejoradas.

El estudio de caso descrito se revisará más adelante hasta definir restricciones en los escenarios a generar y los resultados obtenidos.

Teoría de los medios de vida sostenibles

El planteamiento para desarrollar los elementos para la construcción y jerarquización de escenarios de intervención y toma de decisiones se basa en las teorías de *medios de vida* (*livelihoods*, en inglés) y *estrategias de vida*, como modelo conceptual, para desarrollar modelos mejores para aproximar los procesos de toma de decisiones al nivel de productores/poseedores/dueños de los recursos naturales. El hogar es la unidad mínima de análisis, por lo que los marcos conceptuales están orientados a esta escala de decisión, además de considerar las escalas de políticas públicas e intereses internacionales.

El análisis de los medios de vida sostenibles (*SLA*, por sus siglas en inglés), a partir de los 1990s se ha utilizado como un enfoque dominante por un número importante de agencias internacionales para la

implementación de intervenciones de desarrollo (Ashley y Carney, 1999; Carney y Neefjes, 1999; Drinkwater y Rusinov, 1999; Eade y Williams, 1995; Frankenberg, 1999; Morse *et al.*, 2009; Oxfam, 1997, 1999). El SLA se define en términos de la habilidad de una unidad social para mejorar sus activos y capacidades ante la presencia de estrés e impactos en el tiempo. SLA intenta identificar los activos importantes del medio de vida, sus tendencias en el tiempo y espacio, así como la naturaleza de los impactos y estrés (medio ambiente, económico y social) en estos activos. Bajo un contexto definido (político, legal, económico, institucional, infraestructura, entre otros), las intervenciones se diseñan para enfocarse en cualquier vulnerabilidad y mejorar el medio de vida (*e.g.* diversificación de actividades, esquemas de protección ante riesgos, etc.). SLA es un enfoque que se basa en evidencia de los elementos de los medios de vida.

Aunque SLA es un modelo de intervención que parece razonable y lógico, su implementación práctica no es simple, además de presentar limitaciones en las bases conceptuales. El enfoque de los medios de vida sostenibles se planteó por Chambers y Conway (1992), definiendo el término como “un medio de vida que se conforma de las capacidades, activos (almacenes, recursos, reclamaciones y acceso) y actividades requeridas para subsistir; un medio de vida es sostenible en cuanto pueda cubrir y recuperarse del estrés e impactos, mantener y mejorar sus capacidades y activos y, suministrar oportunidades de medios de vida sostenibles para la siguiente generación, los cuales contribuyen con beneficios netos a otros medios de vida en los niveles locales y globales en el corto y largo plazo”. De acuerdo con esta definición, el requerimiento de que un medio de vida debe recuperarse

del *estrés e impactos* es básico, así como la necesidad de *mantener y mejorar* las capacidades y activos para el futuro. Esto es, la *resiliencia* a perturbaciones, la cual es un requisito de medio de vida, que plantea que el tema de adaptación en cambio climático es un objetivo central, además de los procesos de aprendizaje y auto-organización en torno a estrategias de mitigación asociadas al manejo sostenible de los activos. Carney (1998) define la sostenibilidad de los medios de vida en forma similar a Chambers y Conway (1992), pero agrega la condición de no degradar la base de recursos naturales.

Desde la perspectiva de los medios de vida sostenible, los enfoques utilizan *capitales múltiples* (natural, humano, social, físico y económico-financiero) para analizarlos en el contexto de vulnerabilidad en que se presentan. Los cinco capitales de los medios de vida sostenibles se presentan generalmente usando un polígono y se definen como (Scoones, 1998):

- 1) Capital natural: almacenes de recursos naturales (suelo, agua, aire, recursos genéticos, etc.) y servicios ambientales (ciclo hidrológico, sumideros de contaminantes, etc.).
- 2) Capital humano: habilidades, conocimiento, capacidad laboral (incluye buena salud y capacidad física).
- 3) Capital social: recursos sociales (redes, relaciones sociales, afiliaciones, asociaciones, etc.).
- 4) Capital físico: infraestructura (edificios, caminos), equipo de producción y tecnologías.
- 5) Capital económico-financiero: base de capital (efectivo, crédito/deudas y otros activos económico-financieros).

Estos activos se evalúan en términos de las contribuciones que puedan hacer en mejorar los medios de vida sostenibles, en el contexto de vulnerabilidad en que existen, sus tendencias, estrés e impactos, además de las instituciones y de políticas en que están inmersos.

SLA puede considerarse de diferentes maneras (Farrington, 2001):

- a). Como un conjunto de principios para guiar las intervenciones de desarrollo.
- b). Como un marco analítico para entender el análisis de escenarios de intervención.

- c). Como un objetivo general de desarrollo.

El enfoque de formas múltiples de aplicar el SLA lo ha hecho popular en las agencias de ayuda internacional. Los medios de vida sostenibles tienen algunas raíces en el enfoque de desarrollo humano (Sen, 1984, 1985), que ha adoptado el Programa de las Naciones Unidas para Desarrollo (UNDP, por sus siglas en inglés). UNDP (1990) define al desarrollo humano como el proceso de ampliar las opciones de la gente. En este sentido, en relación a los medios de vida de los hogares, el desarrollo humano puede considerarse como una ampliación de las opciones (ampliación de los activos o capitales), productivas o no, disponibles. UNDP (1990) plantea que “después de todo, es para la gente, no para los árboles, lo que necesita ampliarse en relación a las opciones a futuro”. En este sentido, SLA se centra en la gente y no en la base de recursos. Esto implica un enfoque holístico con relación a los activos y sus flujos, así como los hogares y comunidades (Carney, 1998).

SLA es un enfoque basado en evidencia para la definición de sus principios. Aunque este tipo de desarrollo no es nuevo (Pawson, 2006; Sanderson, 2002), su uso en SLA plantea un esquema *de abajo hacia arriba* (conocimiento de lo local para definir políticas e intervenciones), en donde la situación de la base de recursos, así como sus restricciones y vulnerabilidades, define la viabilidad del enfoque.

El uso de capitales o activos se usa en enfoques más modernos (TEEB, 2018), aunque es posible utilizar otros esquemas en función de los objetivos planteados. Por ejemplo, en la visión de servicios ecosistémicos (SE) y biodiversidad, TEEB (2009) plantean el uso de los SE (provisión, regulación, etc.) para analizar su impacto en el bienestar humano (económico, social y ecológico), a través de indicadores asociados a cada dimensión analizada. El punto central de un marco conceptual es establecer una referencia para definir el estado actual y analizar los cambios a futuro al aplicar escenarios y así evaluar los resultados para la toma de decisiones.

Estrategia de los medios de vida

Asociadas a los enfoques de medios de vida sostenibles, las estrategias de los medios de vida plantean una integración de la escala local con agregaciones de nivel superior (estado e internacional).

En el medio rural habitan diferentes tipos de productores que tratan de cumplir sus objetivos

internos con la implementación de diferentes sistemas de producción. Los elementos básicos en los cuales los productores basan sus decisiones son sus propios

objetivos y las restricciones con las que se enfrentan (Kragten *et al.*, 2001) (Figura 3).

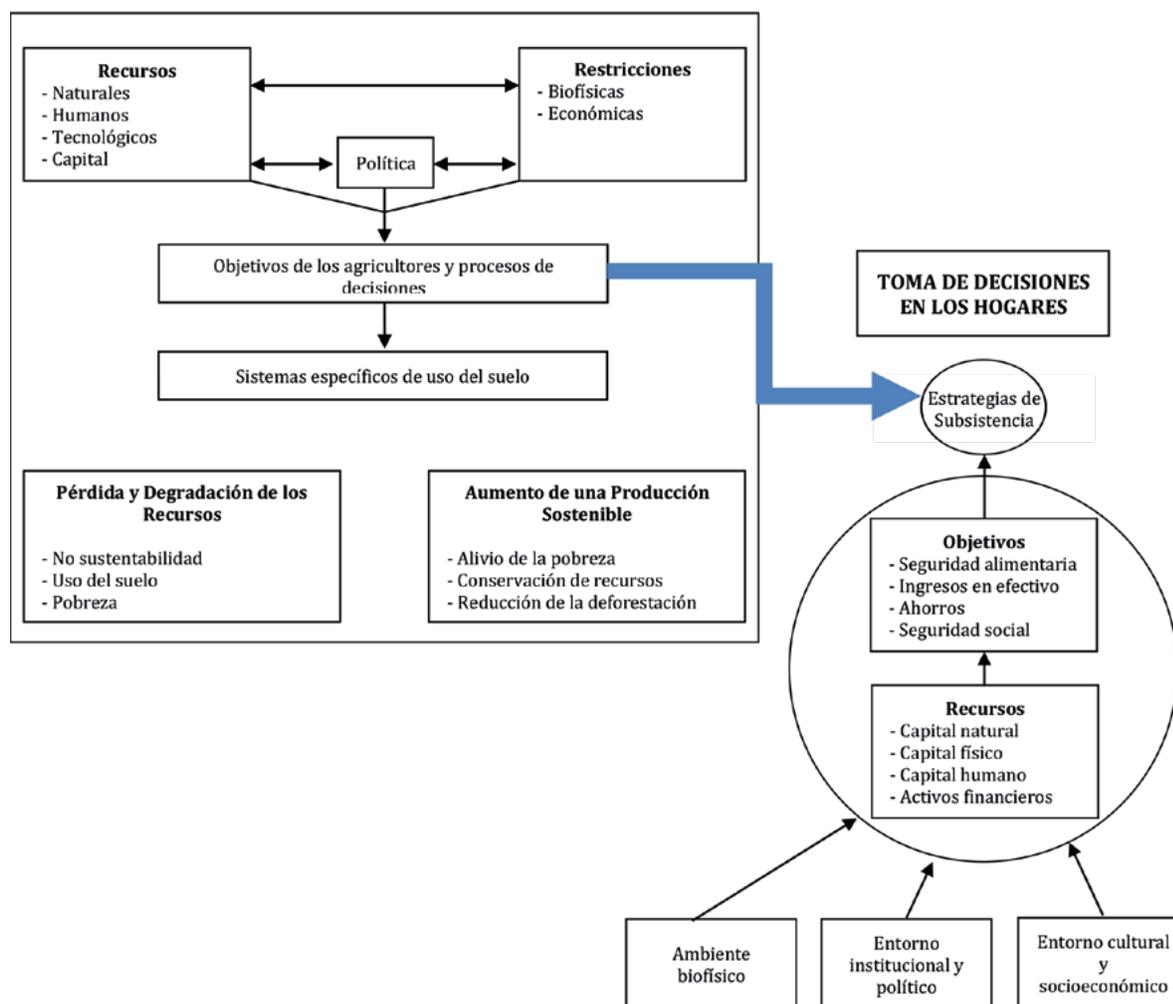


Figura 3. Esquematización del modelo de estrategias de medio de vida (adaptado de Kragten *et al.*, 2001).

La estrategia de los medios de vida plantea la necesidad de entender cómo se toman las decisiones a nivel de hogares, en donde las prácticas no sostenibles se asocian a una falta de opciones de actividades para cumplir sus objetivos. Las decisiones en los hogares y, de alguna manera, el estado de la base de recursos disponibles, es el resultado de la evolución histórica de las decisiones tomadas en función de las opciones disponibles.

Para incorporar la perspectiva de los productores rurales en la toma de decisiones y, con el fin de tener elementos para valorar qué opción de actividad es factible de implementar en función de sus objetivos y opciones disponibles, es necesario entender los procesos asociados.

De acuerdo con la teoría de estrategias de vida, los hogares rurales persiguen, de manera general, los siguientes objetivos:

- 1) Asegurarse provisiones de comida y bienes esenciales de subsistencia.
- 2) Disponer de dinero en efectivo para comprar bienes y servicios.
- 3) Tener ahorros (para cubrir necesidades futuras o emergencias).
- 4) Seguridad social (para asegurarse el acceso futuro a bienes de subsistencia y recursos productivos).

Las opciones y restricciones, por su parte, se dan en dos niveles: a) en el hogar y b) fuera del hogar.

a) En el hogar: los productores y sus familias buscan alcanzar objetivos con los recursos a los cuales tienen acceso. Este acceso a recursos depende de su posición, es decir, la posibilidad de acceso de la familia a/o posesión de: capital humano (conocimiento, habilidades, salud, fuerza de trabajo), recursos naturales (tierras, árboles, ganado, etc.), capital físico (maquinaria, herramientas, aperos agrícolas, etc.), activos financieros (ganancias, créditos, ahorros). La posición de una familia con relación a los recursos (acceso/posesión), es un factor fundamental que define la formulación de sus objetivos y, en consecuencia, las decisiones en cuanto a la elección de estrategias de vida a adoptar. Por ejemplo, un hogar que se encuentra en el límite de la línea de pobreza no adoptará un uso del

suelo que suponga una fuerte inversión o requiera mucho tiempo en producir cosecha o beneficios.

b) Fuera del hogar: más allá del núcleo familiar u hogar, las condiciones del medio (en sentido amplio) en el que habita una familia, también pueden aportar opciones y/o restricciones con capacidad de influir en el proceso de toma de decisiones familiar y sus objetivos (condiciones ambientales, socio-económicas, socio-culturales, institucionales y políticas).

Como se muestra en la Figura 4, los productores llevan a cabo un proceso interno de toma de decisiones, en función de sus propios objetivos e influenciados por diferentes factores que actúan dentro y fuera del hogar. Como resultado, toman decisiones en respecto a los usos del suelo o prácticas de manejo que son factibles y deseables para ellos. El sistema adoptado, sin embargo, puede o no ser sustentable y mantener o mejorar los servicios ecosistémicos y biodiversidad, o no.

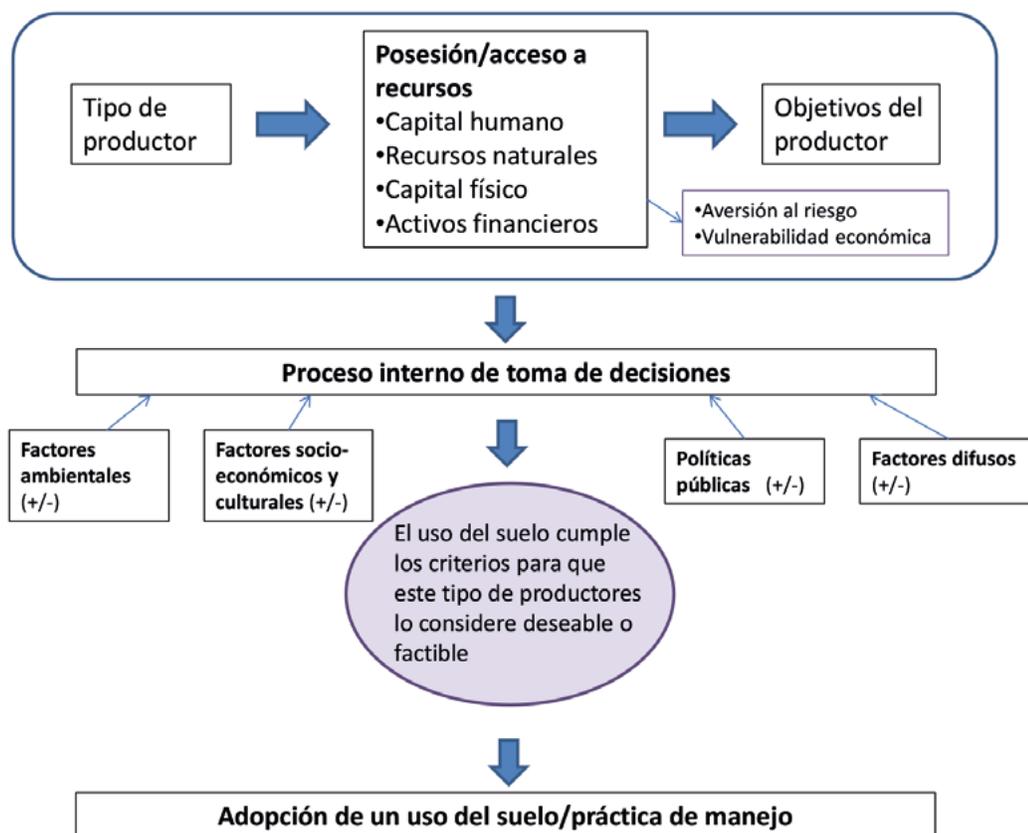


Figura 4. Factores que influyen en el proceso de toma de decisiones en relación con los usos del suelo por parte de los productores (Modificado de Kragten *et al.*, 2001).

El inclinar la adopción, por parte de los productores, hacia prácticas que eviten la deforestación y degradación de bosques, por ejemplo, sistemas sustentables y benéficos para los servicios ecosistémicos y biodiversidad, debe conducirse desde la comprensión de sus necesidades y objetivos, buscando crear las condiciones propicias, para minimizar y mitigar las restricciones.

El modelo de estrategias de medios de vida, sostenibles o no, define la necesidad de orientar acciones de intervención a nivel local en función de los deseos e intereses de los propietarios/usuarios de los recursos naturales, en función del estado de su base de recursos, las restricciones y obstáculos asociados a éstos.

Indicadores/métricas de la estrategia de medios de vida

La teoría de medios de vida y planteamientos similares, requieren de perspectivas multi-dimensionales (multicriterios) para evaluar el resultado de las intervenciones. En los temas ambientales y socioeconómicos, la consideración de la perspectiva de los productores (hogar), del Estado (federal, estatal y municipal) y la internacional (*e.g.* CMNUCC), plantea la necesidad de buscar *soluciones compromiso (tradeoffs, en inglés)* para definir la *mejor* opción (Tomich *et al.*, 1998) con relación a acciones de intervención basadas en la generación de escenarios.

Por ejemplo, para tener las principales dimensiones/ factores que inciden en un cambio de uso del suelo, se han usado matrices de cambios (Vosti *et al.*, 2000; Vosti y Witcover, 1996) que permiten evaluar múltiples dimensiones en la toma de decisiones (multiobjetivo). La matriz general considera los sistemas de uso del suelo, los intereses ambientales globales, los intereses agronómicos de los actores locales, los intereses socioeconómicos de los actores locales y los requerimientos institucionales, entre otros. Asociada a la matriz general está la matriz de redituabilidad, con diferentes métricas, así como las matrices de requerimientos de trabajo, de seguridad alimentaria del hogar, de capacidad institucional *vis-a-vis*, necesidades institucionales específicas al sistema, principalmente. Las matrices están compuestas de decenas de indicadores, cuantitativos y cualitativos, para comprender los cambios implicados en el proceso de toma de decisiones, desde diferentes perspectivas.

Las matrices de información son un vehículo para comunicar y entender las intervenciones de políticas públicas y visualizar *ganadores y perdedores*, ya que toda toma de decisión tiene un lado positivo y uno negativo.

Modelo de cambio de posiciones en los medios de vida

La Figura 5 (Shiferaw y Bantillan, 2004) muestra un modelo conceptual para evaluar los cambios producidos por una decisión de cambio de uso del suelo, el cual puede usarse para evaluar escenarios de acciones de intervención en los ecosistemas terrestres.

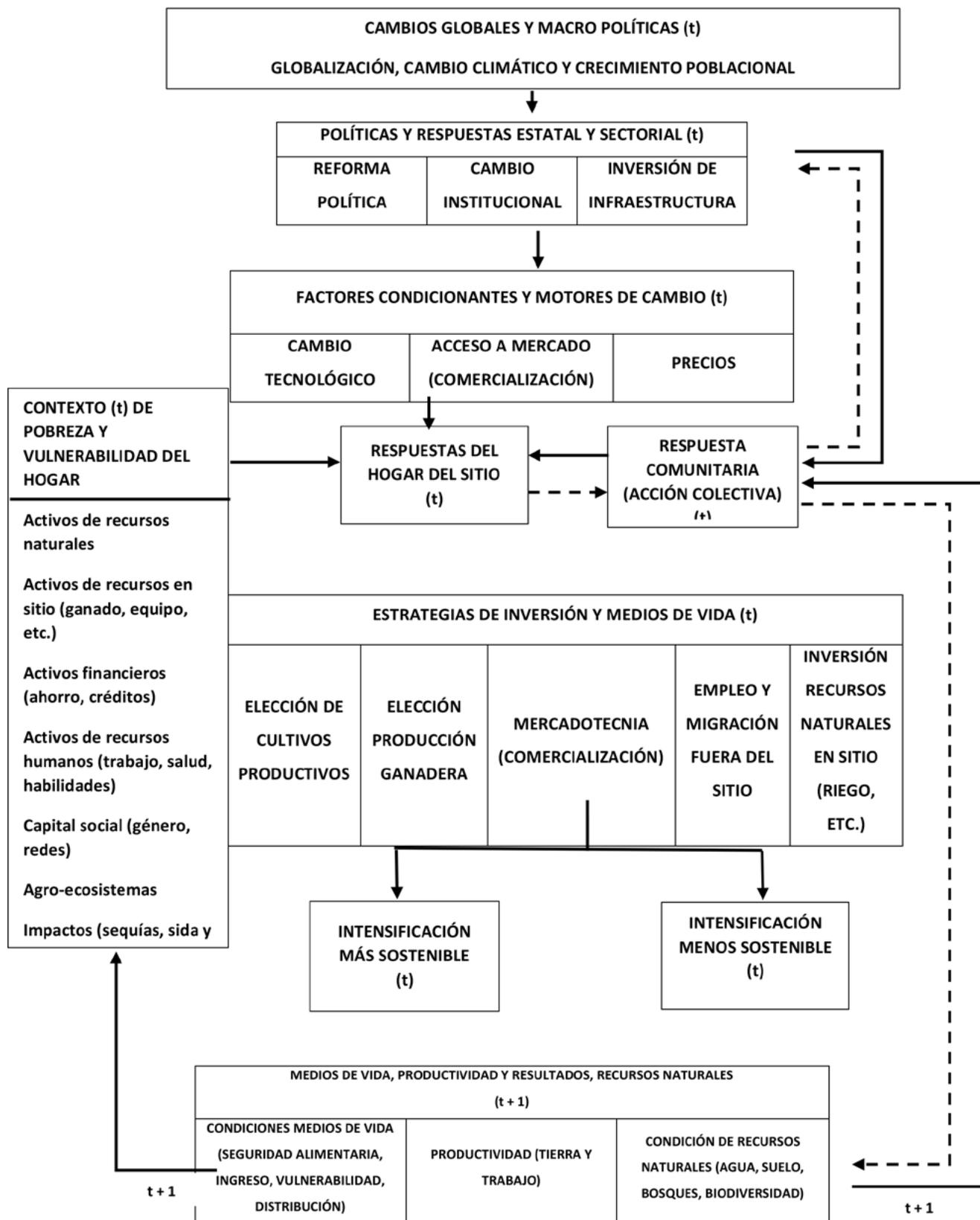


Figura 5. Modelo conceptual de cambios temporales en los medios de vida.

El modelo de la Figura 5, simplemente indica los cambios producto de intervenciones y su impacto en las métricas o indicadores utilizados, de acuerdo con el modelo conceptual que se utilice. Este tipo de modelos conceptuales puede ser operativo usando los desarrollos del Programa Mexicano del Carbono (escenarios de intervención orientados al carbono) (Covaleda *et al.*, 2016, 2017, 2018, 2019a) en los que se utilizan multicriterios (diferentes intereses de los actores en los cambios analizados) para poder analizar impactos en las diferentes dimensiones asociadas a la evaluación.

Adicionalmente a métricas asociadas a los efectos de los cambios de actividades, es necesario considerar métricas de obstáculos y barreras, así como de condiciones facilitadoras para lograr los cambios propuestos. Uno de los objetivos asociados a las intervenciones para incrementar almacenes de carbono, o reducir las emisiones de GEI, es mejorar el carácter democrático de la gobernanza de los recursos naturales (Libert-Amico y Trench, 2016). Al respecto, es posible utilizar indicadores de los requisitos o propiedades de los dueños y de los que usufructúan la tierra y recursos naturales, además de condiciones para la gobernanza, para que ésta se desarrolle (Paz-Pellat y Covaleda, 2019a).

Información y conocimiento

Un problema inherente al lenguaje de las ciencias sociales, naturales y exactas, es la valoración de la información. Desde el punto de vista del cambio climático, el lenguaje probabilístico se ha usado como medio para caracterizar la incertidumbre de las estimaciones (IPCC, 2006), mediante la perspectiva de métricas de precisión y no sesgo, como sus principales herramientas. Este marco conceptual es restrictivo, por lo que es posible su expansión desde dos posiciones. Desde la visión de la aproximación de *abajo hacia arriba*, la teoría generalizada de la información (Klir, 2006) o *Generalized Information Theory* (GIT), la incertidumbre se conceptualiza como una deficiencia de información (incompleta, imprecisa, fragmentada, no confiable, vaga, contradictoria, etc.) y expandiendo la teoría clásica de probabilidad al relajar los requerimientos de aditividad y de límites claros entre clases, para integrar diversas teorías (*e.g.*, probabilidades imprecisas, conjuntos borrosos, teoría de la posibilidad, capacidades), incluido el uso de variables lingüísticas (Zadeh, 1975). La GIT produce estimaciones en las que la incertidumbre forma triadas que capturan diferentes

dimensiones de la incertidumbre, para la toma de decisiones. La integración o fusión de diferentes fuentes de información (cuantitativa y cualitativa) se puede plantear bajo el principio de conservación (invarianza) de la incertidumbre; esto es, el dominio de información expresada en una teoría, se transforma en una expresión correspondiente a otra teoría, de tal forma que no se agrega o se elimina información al cambiar de representación (*e.g.*, mezcla de datos *duros* y *blandos*).

En la perspectiva de la aproximación de *arriba hacia abajo*, se puede aplicar la teoría generalizada de la incertidumbre (Zadeh, 2006) o *Generalized Theory of Uncertainty* (GTU), conceptualizando a la incertidumbre como un atributo de la información. La información es vista en términos de restricciones generalizadas en los valores que toman las variables. Cualquier restricción que se introduzca (*e.g.*, conocimiento) reduce la incertidumbre y se considera una fuente de información. Este marco teórico permite la integración de conocimiento para reducir la incertidumbre de la información.

Una alternativa interesante asociada a GTU es el uso de números-Z (Bahrami *et al.*, 2018; Zadeh, 2011), que integra la información blanda con su confiabilidad, permitiendo un enfoque generalizado para la toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre e imprecisión.

Evaluación de escenarios y soluciones compromiso

El desarrollo de escenarios de intervención, o de otro tipo, genera cambios en los valores de las métricas o indicadores utilizados, más allá de los cambios en los almacenes de carbono en los distintos tipos de vegetación o uso del suelo en la región de análisis. Aunque hay actividades (pasar de un estado A a uno B en esquemas tipo METs) que generan ganancias importantes en los almacenes de carbono, asociadas a estas actividades hay contradicciones socioambientales (Soto-Pinto y Jiménez-Ferrer, 2018) que deben resolverse para que sean viables.

Para generar escenarios es necesario caracterizar a los productores (hogares o familias, UPF = unidad de producción familiar) de modo que sea posible modelar métricas asociadas a evaluar los cambios y definir contradicciones o trade-offs (soluciones compromiso). Por ejemplo, Reyna-Ramírez *et al.* (2020) analizan el flujo de nutrientes, trabajo y dinero en las UPFs de dos zonas de estudio (Figura 6), con el objetivo de rediseñar granjas agrícolas.

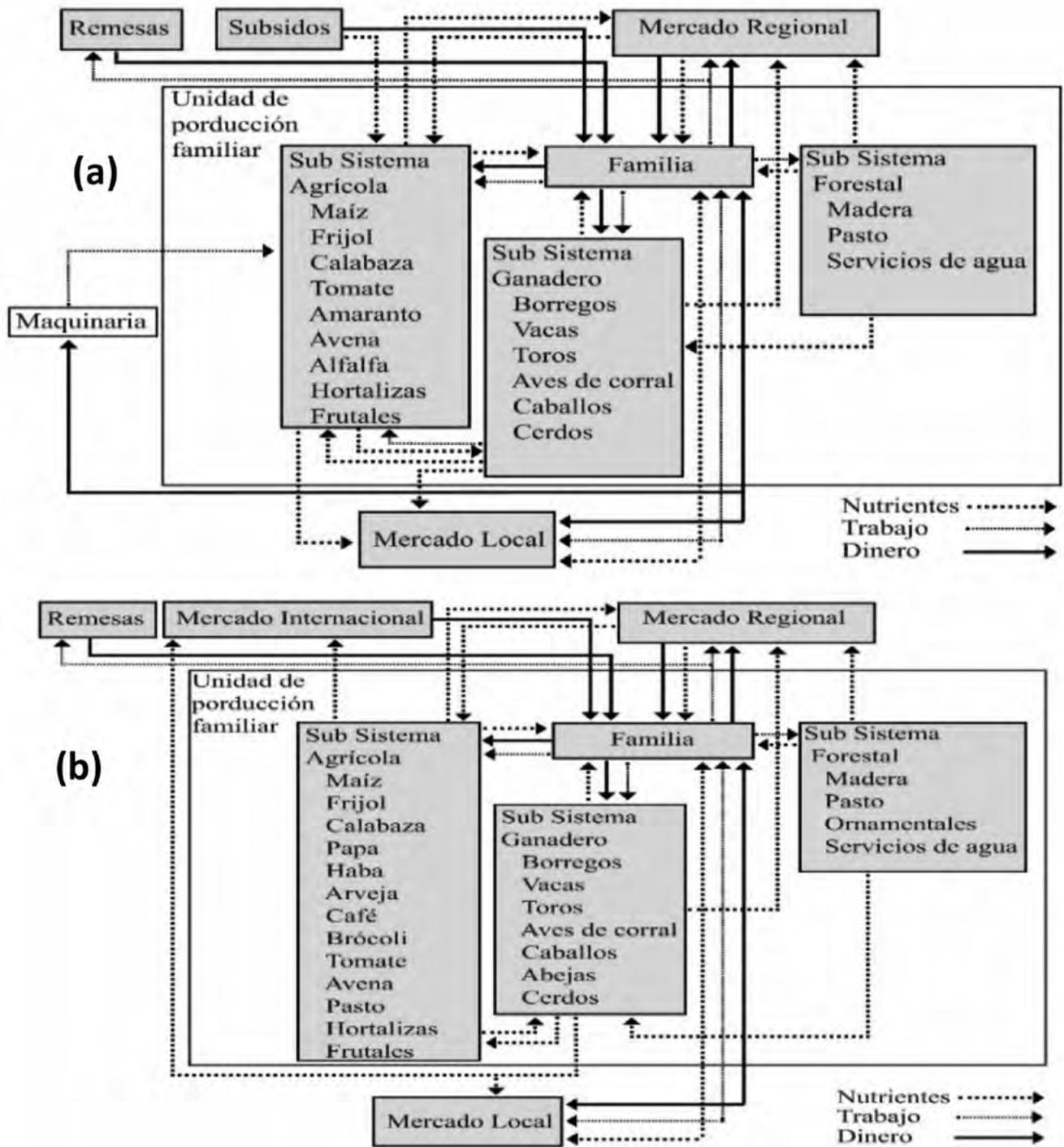


Figura 6. Diagramas de flujo de nutrientes, trabajo y dinero de UPFs. (a) Mixteca oaxaqueña y (b) Altiplano guatemalteco.

Caracterizadas las UPFs regionales es posible desarrollar tipologías con las métricas implementadas para analizar escenarios, en este caso orientados a la generación de alternativas de manejo o nuevas

actividades para las granjas. En la Figura 7 se muestran las tipologías desarrolladas con el uso de técnicas multivariadas.

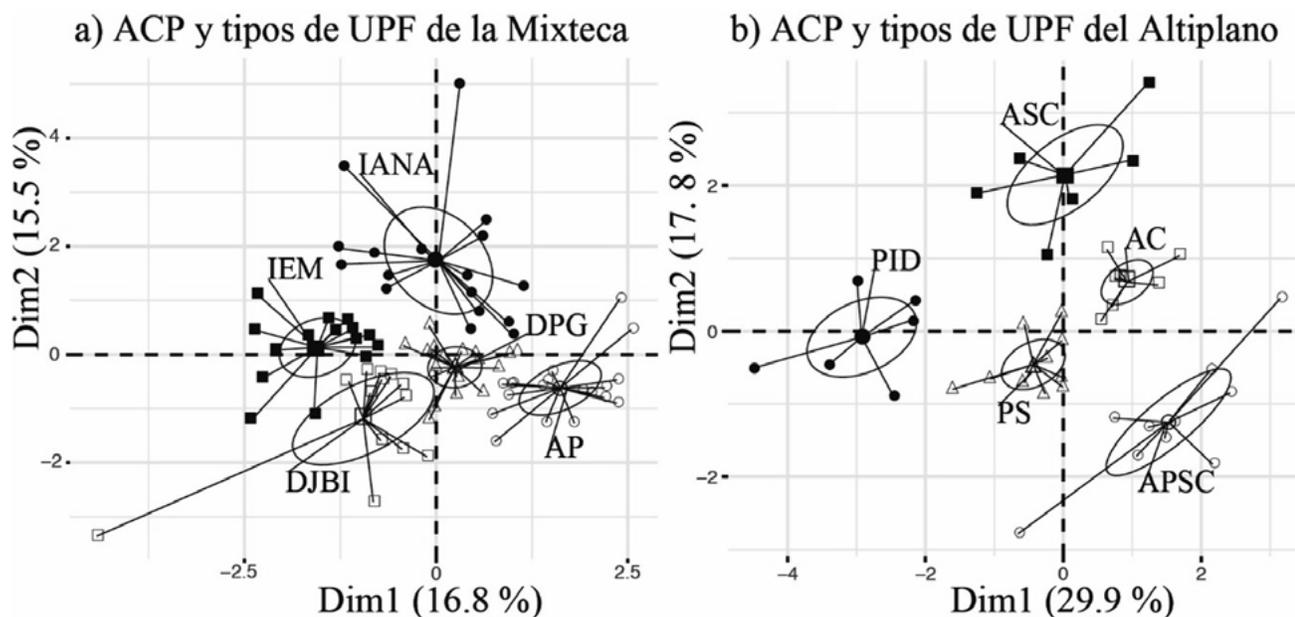


Figura 7. Análisis de Componentes Principales (ACP) para establecer tipologías de las UPFs para: (a) Mixteca y (b) Altiplano. AP = agropecuarias; DJBI = dependientes de jornales agrícolas externos y bajos ingresos monetarios; DPG = dependientes de programas gubernamentales; IANA = ingresos altos no-agrícolas; PID = pequeñas de ingresos diversificados y ASC = agrícolas semi-comerciales.

En la dimensión de los intereses de las UPFs, se pueden analizar diferentes escenarios de intervención para rediseñar las granjas o predios y sus actividades (Reyna-Ramírez *et al.*, 2018).

La *optimización* de un sistema con múltiples indicadores y criterios, definidos los objetivos, se hace mediante el análisis multicriterio (Department for Communities and Local Government, 2009). La forma más simple de realizar esta tarea es definir una escala de valor (e.g. de 0 a 3; 0 es neutral y 3 el más importante), asignarla a todos los criterios (dimensiones) y ponderar éstos por su importancia con relación al objetivo. La *mejor* opción es la que tenga mayor puntaje. Este enfoque simplista prioriza criterios con relación a los demás, por lo que habrá *ganadores* y *perdedores* en función a la asignación de prioridades de los escenarios. Un esquema comúnmente utilizado es definir fronteras de eficiencia de las alternativas evaluadas (Mora *et al.*, 2016), para seleccionar alternativas que estén más cercanas a las fronteras definidas.

En la práctica de escenarios de intervención, se tienen múltiples criterios e indicadores (Flores-Sánchez *et al.*, 2014; Paz *et al.*, 2012), por lo que se pueden definir criterios diferentes en función de obtener soluciones compromiso. Un enfoque conveniente de evaluación de escenarios es el uso del concepto de eficiencia de Pareto o frontera de Pareto (Groot *et al.*, 2012; Kanter

et al., 2018), que señala que los escenarios (actividades o procesos) son óptimos cuando su evaluación no es peor que cualquier otro escenario para todos los objetivos definidos (cuando éstos funcionan igual o mejor que cualquier otro escenario en al menos un objetivo). Desde una perspectiva integral, la eficiencia de Pareto es una situación donde no hay escenario o criterio de preferencia que pueda mejor sin hacer, al menos, otro escenario peor o sin pérdida alguna. Este tipo de soluciones compromisos implica que en cada opción no Pareto óptima hay opciones perdedoras. No obstante, la opción o escenario seleccionada tiene costos colaterales asociados desde el punto de vista de otras dimensiones o criterios. Por ejemplo, la expansión de la frontera agrícola en una zona puede ser óptima para incrementar los ingresos de los productores y generar alimentos, pero perjudicial desde el punto de vista de emisiones GEI o pérdida de la biodiversidad.

Para el ejemplo de escenarios de intervención planteado en secciones anteriores, la priorización de criterios tiene por objetivo establecer una jerarquía de intereses; es decir, darle mayor o menor peso a los diferentes componentes y subcomponentes que se pueden analizar en los escenarios y que incluyen variables ambientales relacionadas con diferentes objetivos (carbono, agua y biodiversidad) y variables socio-económicas.

En la matriz de priorización de intereses (Cuadro 5) es posible definir escenarios diferentes, en los que se puede dar mayor o menor peso a los componentes y subcomponentes susceptibles de evaluar. Las últimas dos líneas de la matriz tratan de definir el nivel de interés por parte de los productores y/o de los políticos/tomadores de decisiones, incluyendo la aversión al riesgo de los productores. Esto es, productores en niveles de subsistencia tienen una alta aversión al riesgo que implica adoptar cambios de uso del suelo o prácticas de manejo, que no generan recursos en forma inmediata, al menos, para su alimentación. Productores capitalizados o con dependencia de otras fuentes de ingresos más allá de la tierra, tienen una baja aversión al riesgo para tomar decisiones en cuanto a cambios en sus patrones de manejo de la tierra y pueden esperar ingresos a mediano o largo plazo (e.g. plantaciones forestales), sin poner en riesgo su subsistencia.

Para poder focalizar las posibles implementaciones de escenarios de intervención en una región, es necesario el desarrollo de tipologías de los productores, que permitan analizar sus objetivos o intereses (Covaleda *et al.*, 2014).

La priorización de intereses del tomador de decisiones o analista, usa criterios múltiples, muchos de ellos en conflicto entre sí, para analizar las actividades (estados en los METs) que cumplen las restricciones impuestas. El uso de indicadores múltiples permite la flexibilidad suficiente para adaptarse a visiones particulares de los usuarios / actores. En el caso del ejemplo, los criterios usados para el análisis multi-criterio y multi-objetivo fueron:

- Carbono. Se consideró el caso de REDD+ y sus subcomponentes, así como el del sector agropecuario y sus subcomponentes.
- Biodiversidad Vegetal. El único criterio que se consideró fue la riqueza de especies / grupos funcionales de plantas vasculares o leñosas. No se consideraron criterios a escala de paisaje dado que no se pueden agregar los indicadores sin la consideración explícita del escalamiento (función riqueza – área).
- Agua. Los subcomponentes considerados fueron cantidad (m³ de agua totales de recarga subterránea), estacionalidad (gastos mínimos y máximos de agua) y calidad (erosión-sedimentación).

- Seguridad Alimentaria. Los subcomponentes de dotación de alimentos fueron la generación de cultivos para autoabastecimiento y la compra de alimentos por intercambio de dinero o por ingresos generados por empleo.
- Reducción de Pobreza. Se consideró la reducción de la pobreza vía producción de alimentos o generación de ingresos por actividades productivas o empleos.
- Empleo. Los subcomponentes considerados fueron la creación de empleos y retornos al empleo sin ninguna restricción (genérico) y la creación de empleos sin problemas de equidad de género (e.g. trabajo de la mujer, ancianos, niños).
- Financiamiento. Los subcomponentes considerados fueron que el proyecto (cambio de uso del suelo o práctica mejorada) fuera bancable (existencia de línea de crédito y rentabilidad financiera) o que el financiamiento pudiera obtenerse de otras fuentes no bancarias (e.g. prestamistas, recursos propios, etc.).
- Interés del Productor y Aversión al Riesgo del Productor. Para poder desarrollar escenarios desde la perspectiva del productor (rentabilidad del proyecto, conocimiento y habilidades técnicas, posición de recursos, etc.) se consideraron estos criterios de priorización. La aversión al riesgo del productor permite orientar los escenarios hacia cambios de uso del suelo y prácticas mejoradas en función de la disposición de recursos (financieros, físicos, tierra, trabajo, vulnerabilidad, etc.) por parte de los productores.
- Interés de Políticas Públicas. Este componente se planteó para considerar la perspectiva de los hacendados y tomadores de decisión de políticas públicas.

Los pesos que se asignaron a los componentes y subcomponentes fueron: 0 = neutral, 1 = importancia baja, 2 = importancia media y 3 = importancia alta.

En el Cuadro 5 se presenta un ejemplo de la priorización seleccionada para una subcuenca del ejemplo, se muestra el contraste entre dos escenarios:

El primero otorga un mayor peso a la mejora de los servicios ecosistémicos en la subcuenca, particularmente agua y carbono. Es el que tiene mayor interés para los tomadores de decisiones.

El segundo asigna mayor peso a los componentes relacionados con la seguridad alimentaria, empleo

y financiamiento, siendo de mayor interés para los productores.

Cuando algún componente-subcomponente no se consideró como criterio de priorización, se le asignó un valor de 0 (categoría de neutral) en la matriz.

Cuadro 5. Matriz de priorización de intereses.

Componente	Subcomponente	Priorización de intereses				
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Carbono - REDD+	Deforestación	0	0			
Carbono - REDD+	Degradación	0	0			
Carbono - REDD+	Incremento de Almacenes	0	0			
Carbono - REDD+	Manejo Forestal Sustentable	0	0			
Carbono - REDD+	Conservación de Almacenes	0	0			
Carbono - Agropecuario	Agrícola	3	1			
Carbono - Agropecuario	Pecuaria	3	1			
Biodiversidad Vegetal	General	2	1			
Agua	Cantidad	3	1			
Agua	Estacionalidad	3	1			
Agua	Calidad	3	1			
Seguridad Alimentaria	Autoabastecimiento	2	3			
Seguridad Alimentaria	Compra de Alimentos	0	3			
Reducción de Pobreza	General	0	0			
Empleo	Genérico	1	3			
Empleo	Equidad de Género	0	0			
Financiamiento	Bancable	1	0			
Financiamiento	Otras fuentes	0	3			
Interés del Productor	General	1	3			
Aversión al Riesgo del Productor	General	1	3			
Interés de Política Pública	General	3	2			

Las transiciones entre clases de INEGI utilizadas para la generación de los escenarios del ejemplo deben traducirse a transiciones entre estados de los METs, las cuales se identifican utilizando la información de la región. Este paso es necesario para que toda la información recopilada con relación al carbono, agua, biodiversidad e información socioeconómica, esté relacionada con transiciones concretas de los modelos de estados y transiciones desarrollados para cada región.

Entre otros indicadores se utilizaron:

Productor-Política Pública 1: contiene información de indicadores relacionados con las restricciones de acceso a diferentes tipos de mercados.

- + Mercados de insumos: restricciones asociadas a los mercados de insumos para el Estado del

MET (e.g. viveros para plántulas, semillas mejoradas, fertilizantes, etc.). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.

- + Mercados de productos: restricciones asociadas a los mercados de productos para el Estado (e.g. mercados y precios establecidos para las cosechas, cercanía a mercados, etc.). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.
- + Mercados de trabajo: restricciones asociadas a los mercados de trabajo para el Estado (e.g. requerimientos de trabajo calificado, trabajo disponible en el hogar, etc.). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.
- + Mercados de capital: restricciones asociadas a los mercados de capital para el Estado (e.g. disponibilidad de crédito, ahorros, remesas,

etc.). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.

Política Pública-Productor 2: la información con relación a otro tipo de cuestiones que pueden tener relevancia a la hora de implementar un nuevo uso del suelo/práctica de manejo.

- + Información no de mercado: información indirecta requerida para implementar el Estado (e.g. información y capacitación técnica, exceso de intermediarios y mafias). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.
- + Problemas regulatorios: cumplimiento de regulaciones formales e informales, para implementar el Estado (e.g. permisos para plantaciones, estado no permitido por usos y costumbres – granjas de puercos en comunidades judías, etc.). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.
- + Derechos de propiedad: problemas asociados a la tenencia de la tierra al implementar un Estado (e.g. vecindados, esposa e hijos, etc.). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.
- + Impactos ambientales locales más allá de las parcelas: son los impactos o efectos ambientales en la comunidad, relacionados con la parcela y

el Estado (e.g. prácticas de quemas agrícolas para adoptar plantaciones adyacentes a zonas agrícolas). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.

- + Derechos de propiedad: problemas asociados a la tenencia de la tierra al implementar un Estado (e.g. vecindados, esposa e hijos, etc.). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.
- + Sesgos de equidad: son problemas asociados a los resultados de adoptar un Estado con relación a problemas de equidad (e.g. cacicazgo, trabajo de la mujer, etc.). Los arreglos sociales pueden compensar estas restricciones.
- + Cooperación social: la cooperación social puede reducir las restricciones en la adopción de un Estado, facilitando el proceso de implementación, por lo que es importante definir si hay restricciones para que se presente.

Continuando con el ejemplo, es posible identificar varias posibilidades de Estados finales de los METs; es decir, desde el uso del suelo/práctica de manejo inicial, es posible modificar a varios estados finales relacionados con los objetivos planteados en el escenario que se pretende analizar (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estados iniciales y finales de INEGI y de los METs para los proyectos planteados en la subcuenca ejemplo.

Tipo de proyecto	Estado inicial	Estado inicial	Estado final	Estados finales
	INEGI	METs	INEGI	METs
Ganadería extensiva a sistemas silvopastoriles	PC	PC	PC Mej.	PC-R, SSD-trop, SSE-trop
Café convencional a sistemas mejorados	TP	CN	TP Mej.	CC, CO
Maíz de temporal a MIAF	TA	M-P	TA Mej.	LC, MIAF

Clases INEGI: PC: pastizal cultivado; TP: agricultura de temporal de ciclo permanente; TA: agricultura de temporal de ciclo anual; Mej.: mejorada.

Clases METs: PC: pastizal cultivado, CN: café natural; M-P: cultivo de temporal de maíz bajo el sistema tradicional, agricultura permanente; PC-R: pastizal cultivado de riego; SSD-trop: Sistema silvopastoril doble propósito tropical; SSE-trop: Sistema silvopastoril para engorda tropical; CC: café convencional; CO: Café orgánico; LC: labranza de conservación; M-R: Cultivo de maíz con riego; MIAF: Maíz intercalado con árboles frutales.

En este punto es posible identificar los estados finales deseados o, también, se pueden evaluar distintas opciones en función de las prioridades establecidas en el Cuadro 5. Para el presente ejemplo se realiza una evaluación simplificada de alternativas.

En el Cuadro 5 se definieron dos escenarios, el primero centrado en el impacto sobre los servicios ecosistémicos y el segundo sobre algunas variables socioeconómicas. Para evaluar alternativas en función de estas consideraciones se pueden seleccionar algunas variables de las disponibles:

- Para el escenario 1 las variables seleccionadas fueron:
 - Ganancia/pérdida de carbono total (t C ha⁻¹).

- Para el escenario 2 las variables seleccionadas fueron:
 - Seguridad alimentaria: calorías (kcal/ha/año); proteínas (kcal/ha/año); vía de dotación de alimentos.
 - Empleo: jornales promedio anuales totales (jornales/ha/año).
 - Acceso a financiamiento: mercados de capital.

En el Cuadro 7 se presentan los valores de las variables descritas, que servirán para la selección de estados finales en cada escenario.

Cuadro 7. Comparación de escenarios utilizando algunas variables relacionadas con el carbono, seguridad alimentaria, empleo y acceso a financiamiento.

Proyecto	Escenario 1			Escenario 2			
	Edos. finales	Carbono	Calorías	Proteínas	Vía dotación alimentos	Empleo	Acceso a financiamiento
1	PC-R	1.1	N.a.	N.a.	2	N.d.	2
	SSD-trop	16.0	N.a.	N.a.	3	367.7	1
	SSE-trop	16.0	N.a.	N.a.	3	122.4	1
2	CC	17.6	N.a.	N.a.	2	80	1
	CO	34.6	N.a.	N.a.	2	139.5	1
3	LC	3.1	6,497,000	167.7	1	29	1
	MIAF	14.9	8,979,300	281.5	3	213.7	2

Proyecto: 1: Ganadería extensiva a sistemas silvopastoriles; 2: Café convencional a sistemas mejorados; 3: Maíz de temporal a MIAF; PC: pastizal cultivado, CN: café natural; M-P: cultivo de temporal de maíz bajo el sistema tradicional, agricultura permanente; PC-R: pastizal cultivado de riego; SSD-trop: Sistema silvopastoril doble propósito tropical; SSE-trop: Sistema silvopastoril para engorda tropical; CC: café convencional; CO: Café orgánico; LC: labranza de conservación; M-R: Cultivo de maíz con riego; MIAF: Maíz intercalado con árboles frutales. N.a.: no aplica; N.d.: no disponible.

De acuerdo con el Cuadro 7, los estados finales que más se adecuan a las priorizaciones establecidas en ambos escenarios son:

- Escenario 1:
 - Proyecto 1: SSD-trop y SSE-trop
 - Proyecto 2: CO
 - Proyecto 3: MIAF

- Escenario 2:
 - Proyecto 1: SSD-trop
 - Proyecto 2: CO
 - Proyecto 3: MIAF

COMENTARIOS FINALES

La discusión actual sobre la necesidad de un mayor acoplamiento y trabajo interdisciplinario de las ciencias sociales con las ciencias exactas, constituye el fundamento para presentar una primera aproximación hacia el Segundo Reporte del Estado del Ciclo del Carbono en México, con base en la modelación de la dinámica del carbono en los diferentes almacenes de los ecosistemas terrestres y agropecuarios. La consideración de otras dimensiones en la generación de escenarios de intervención y definición de soluciones-compromisos, para evaluar el estado del ciclo del carbono y su impacto en múltiples dimensiones asociadas, permite establecer un marco común de trabajo para aprovechar al máximo las experiencias de los integrantes del Programa Mexicano del Carbono.

Las propuestas del presente trabajo, deben considerarse como una primera aproximación para su revisión y posterior estructuración.

LITERATURA CITADA

- Ashley, C. and D. Carney. 1999. Sustainable livelihoods: lessons from early experience. Department for International Development. London. 63 p.
- Ayala-Carrillo, M. R., V. Gutiérrez-Villalpando y E. Zapata-Martelo. 2016. Género, cambio climático y REDD+: experiencias en el tiempo. *Terra Latinoamericana* 34: 139-154.
- Bahrami, S., R. Yaakob, A. Azman and R. Atan. 2018. A review on Z-numbers. *International Journal of Engineering and Technology* 7:487-490.
- Banco Mundial. 2019. Mexico country profile. http://sdwebx.worldbank.org/climateportalb/home.cfm?page=country_profile&CCCode=MEX (Consulta: julio 04,2020).
- Butler, J. H. and S. A. Montzka. 2018. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Global Monitoring Laboratory. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>. (Consulta: julio 19, 2020).
- Carney, D. 1998. Sustainable rural livelihoods. What contribution can we make? Department of International Development. Russell Press Ltd. Nottingham, UK. 213 p.
- Carney, D. and K. Neefjes. 1999. Livelihood approaches compared. Department for International Finance. United Kingdom. 19 p.
- Chambers, R. and G. Conway. 1992. Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century. IDS Discussion Paper 296. IDS. Brighton, IK. <https://www.ids.ac.uk/publications/sustainable-rural-livelihoods-practical-concepts-for-the-21st-century/>(Consulta: agosto 31, 2020).
- Chazdon, R. L., V. Gutiérrez, P. H. S. Brancalion, L. Laestadius and M. R. Guariguata. 2020. Co-Creating Conceptual and Working Frameworks for Implementing Forest and Landscape Restoration Based on Core Principles. *Forests* 11: 706.
- Covaleda, S., F. Paz y A. Ranero. 2017. Propuesta de escenarios de intervención para REDD+ y RETUS a nivel regional en el estado de Chiapas, México. *Elementos para Políticas Públicas* 1:87-102.
- Covaleda, S., F. Paz-Pellat y A. Ranero. 2018. Escenarios de mitigación de emisiones para el sector rural del Estado de Chiapas utilizando modelos de estados y transiciones. *Madera y Bosques* 24: e2401897. DOI:21829/myb.2018.2401897
- Covaleda, S., F. Paz y A. Ranero. 2016. Carbono edáfico en Chiapas: planteamiento de políticas públicas de mitigación de emisiones. *Terra Latinoamericana* 34: 97-112.
- Covaleda, S., S. Aguilar, A. Ranero, M. I. Marín y F. Paz. 2014. Diagnóstico sobre determinantes de deforestación en Chiapas. Informe técnico preparado para la Alianza MREDD+. ALIANZA México para la reducción de emisiones por deforestación y degradación. México. <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/items/show/176> (Consulta: septiembre 06, 2020).
- Covaleda-Ocón, S., F. Paz-Pellat y B. de Jong. 2019b. Modelos de estados y transiciones para los almacenes de carbono de las principales regiones de Chiapas, México. *Elementos para Políticas Públicas* 3: 183-226.
- Covaleda-Ocón, S., F. Paz-Pellat, A. Ranero-Puig, M. I. Marín-Sosa, M. Casiano-Domínguez, B. de Jong, J. D. Etchevers-Barra y A. S. Velázquez-Rodríguez. 2019a. Capítulo 24: Escenarios asociados al ciclo del carbono y sus interacciones: Estado de Chiapas. pp. 573-602. En: Paz-Pellat, F., J.M. Hernández-Ayón., R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. Estado del Ciclo del Carbono en México: Agenda Azul y Verde. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México. Department for Communities and Local Government. 2009. Multi-Criteria Analysis: a manual. Eland House, London. 169 p.
- Díaz-Solis, H., W. E. Grant, M. M. Kothmann, W. R. Teague, F. Paz-Pellat and M. Bolaños-González. 2016. Strategies to reducing GHG emissions in semi-arid rangelands of Mexico. *Terra Latinoamericana* 34: 73-82.
- Drinkwater, M. and T. Rusinov. 1999. Application of CARE's livelihood approach. NRAC. United Kingdom. <https://www.eldis.org/document/A40253> (Consulta: abril 09, 2020).
- Eade, D. and S. Williams. 1995. The Oxfam handbook for development and relief. Oxfam. Oxford. UK and Ireland. 473 p.
- FAO. 2019. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture, FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Rome. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/ca3129en/#:~:text=Fragmento%3A-,The%20State%20of%20the%20World's%20Biodiversity%20for%20>

- Food%20and%20Agriculture,for%20food%20and%20agri- culture%20worldwide.&text=It%20is%20essential%20to%20 the,wide%20range%20of%20ecosystem%20services. (Con- sulta: enero 07, 2020).
- Farrington, J. 2001. Sustainable livelihoods, rights and the new architecture of aid. Overseas Development Institute. London, UK. *Natural Resources Perspectives* 42:2-6.
- Flores-Sánchez, D., J. C. J. Groot, E. A. Lantinga, M. J. Kropft and W. A. H. Rossing. 2014. Options to improve family income, labor input and soil organic matter balances by soil management and maize-livestock interactions. Exploration of farm-specific options for a region in Southwest Mexico. *Renewable Agriculture and Food Systems* 30:373-391. DOI:10.1017/S1742170514000106.
- Frankenberger, T. and M. Drinkwater. 1999. Household livelihood security: a holistic approach addressing poverty and vulnerability. *CARE*. 54 p.
- Friedlingstein, P., M. W. Jones, M. O'Sullivan, R. M. Andrew, D. C. E. Bakker, J. Hauck, C. Le Quéré, G. P. Peters, W. Peters, J. Pongratz, S. Sitch, J. G. Canadell, P. Ciais, R. B. Jackson, R. S. Alin, P. Anthoni, N. Bates, M. Becker, N. Bellouin, L. Bopp, T. Chau, F. Chevallier, L. Chini, M. Cronin, K. Currie, B. Decharme, L. Djeutchouang, X. Dou, W. Evans, R. Fee- ly, L. Feng, T. Gasser, D. Gilfillan, T. Gkritzalis, G. Grassi, L. Gregor, N. Gruber, Ö. Gürses, I. Harris, R. Houghton, G. Hurtt, Y. Iida, T. Ilyina, I. Luijkx, A. Jain, S. Jones, E. Kato, D. Kennedy, K. Klein-Goldewijk, J. Knauer, J. Korsbakken, A. Körtzinger, P. Landschützer, S. Lauvset, N. Lefèvre, S. Lie- nert, J. Liu, G. Marland, P. McGuire, C. Melton, J. R. Mun- ro, D. R. Nabel, J. E. M. S. S. Nakaoka, Y. Niwa, T. Ono, D. Pierrot, B. Poulter, G. Rehder, L. Resplandy, E. Robertson, C. Rödenbeck, T. Rosan, J. Schwinger, C. Schwingshackl, R. Sé- férian, A. Sutton, C. Sweeney, T. Tanhua, P. Tans, H. Tian, B. Tilbrook, F. Tubiello, G. van der Werf, N. Vuichard, C. Wada, R. Wanninkhof, A. Watson, D. Willis, A. Wiltshire, W. Yuan, C. Yue, X. Yue, S. Zaehle and J. Zeng. 2021. Global Carbon Budget 2021, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* [preprint]. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-2021-386>.
- García, R. 2006. *Sistemas Complejos. Conceptos, método y funda- mentación epistemológica de la investigación interdisciplinar- ia*. Editorial Gedisa. Barcelona. 199 p.
- Groot, C. J. J., G. J. M. Oomen and W. A. H. Rossing. 2012. Multi-objective optimization and design of farming systems. *Agric- ultural Systems* 110: 63-77.
- Hawthorne, S. D. y Boissiere, M. 2014. Literature review of par- ticipatory measurement, reporting and verification (PMRV). CIFOR Working Paper no. 152. Bogor, Indonesia. 35 p.
- Hristov, A. N., J. M. F. Johnson, C. W. Rice, M. E. Brown, R. T. Conant, S. J. Del Grosso, N. P. Gurwick, C. A. Rotz, U. M. Sainju, R. H. Skinner, T. O. West, B. R. K. Runkle, H. Janzen, S. C. Reed, N. Cavallaro and G. Shrestha. 2018. Chapter 5: Agriculture. pp. 229-263. *In: Cavallaro, N., G. Shrestha, R. Birdsey, M. A. Mayes, R. G. Najjar, S. C. Reed, P. Rome- ro-Lankao and Z. Zhu (eds.). Second State of the Carbon Cy- cle Report (SOCCR2): A Sustained Assessment Report*. U.S. Global Change Research Program. Washington, DC, USA.
- INECC. 2015. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernade- ro 2015*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. [https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/ inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compues- tos-de-efecto-invernadero](https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compues- tos-de-efecto-invernadero) (Consulta: marzo 04, 2020).
- INEGI. 2020. *Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Na- cional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. [https:// www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/](https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/) (Consulta: marzo 19, 2020).
- IPBES. 2019. *Global Assessment Report on Biodiversity and Eco- system Services*, Paris. IPBES secretariat. Bonn, Germany. 1148 p.
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Re- port of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *In: Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.*
- IPCC. 2006. *Agriculture, forestry and other land use IPCC Guide- lines for National Greenhouse Gas Inventories*. *In: Eggleston, H., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe (eds.). Pre- pared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan.*
- Kanter, D. R., M. Musumba, S. L. R. Wood, C. Palm, J. Antle, P. Balvanera, V. H. Dale, P. Havlik, K. L. Kline, R. J. Scholes, P. Thornton, P. Tittonell and S. Andelman. 2018. Evaluating agriculture trade-offs in the age of sustainable development. *Agricultural Systems* 163:73-88.
- Klir, G. J. 2006. *Uncertainty and Information: Foundations of Generalized Information Theory*. John Wiley and Sons. Inc. 518 p.
- Kragten, M., T. P. Tomich, S. Vostl and J. Gockowki. 2001. Evalua- ting land use systems from a socio-economic perspective. ASB Lecture Note 8. International Centre for Research in Agrofo- restry, Southeast Asian Regional Research Program. Bogor, Indonesia. 32 p.
- Libert-Amico, A. y T. Trench, 2016. Bosques y suelos en el contex- to de REDD+: Entre gobierno y gobernanza en México. *Terra Latinoamericana* 34: 189-209.
- Libert-Amico, A., T. Trench, A. Rodríguez y P. Martínez. 2018. Experiencias de gobernanza multinivel en México: innovación para la reducción de emisiones en ecosistemas terrestres. *Ma- dera y Bosques* 24: e2401914.

- Libert-Amico, A. y F. Paz-Pellat. 2018. Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del café en Chiapas. *Madera y Bosques* 24: e2401914. DOI:10.21829/myb.2018.2401914.
- Libert-Amico, A., F. Paz-Pellat, G. Villalobos-Sánchez, M. Fuentes-Ponce y S. Covalada-Ocón. 2019. Capítulo 28: Dimensión social en ecosistemas terrestres. pp. 687-715. En: Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. *Estado del Ciclo del Carbono en México: Agenda Azul y Verde*. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México. ISBN 978-607-96490-7-4.
- Malone, E. L., M. Betsill, S. Hughes, R. Kemp, L. Lutzenhiser, M. Moezzi, B. L. Preston and T. O. West. 2018: Chapter 6: Social science perspectives on carbon. pp. 264-302. *In: Cavallaro, N., G. Shrestha, R. Birdsey, M. A. Mayes, R. G. Najjar, S. C. Reed, P. Romero-Lankao and Z. Zhu (eds.). Second State of the Carbon Cycle Report (SOCCR2): A Sustained Assessment Report*. U.S. Global Change Research Program. Washington, DC, USA.
- Martínez, N. y I. Espejel. 2015. La investigación de la gobernanza en México y su aplicabilidad ambiental. *Economía, Sociedad y Territorio* 15: 153-183.
- McCall, M. K., N. Chutz and M. Skutsch. 2016. Moving from Measuring, Reporting, Verification (MRV) of Forest Carbon to Community Mapping, Measuring, Monitoring (MMM): Perspectives from Mexico. *PLoS ONE* 11: e0146038. DOI: 10.1371/journal.pone.0146038.
- McKenzie, E., A. Rosenthal, J. Bemhardt, K. Girvetz, Kovacs, N. Olwero, N. and J. Toft. 2012. Developing Scenarios to Assess Ecosystem Service Tradeoffs: Guidance and case studies for InVEST users. *World Wildlife Fund*, Washington, D.C.
- Minasny, B., B. P. Malone, A. B. McBratney, D. A. Angers, D. Arrouays, A. Chambers, V. Chaplot, Z. S. Chen, K. Cheng, B. S. Das, D. J. Field, A. Gimona, C. B. Hedley, S. Y. Hong, B. Mandal, B. P. Marchant, M. Martin, B. G. McConkey, V. L. Mulder, S. O'Rourke, A. C. Richer-de-Forges, I. Odeh, J. Padarian, K. Paustian, G. Pan, L. Poggio, I. Savin, V. Stolbovoy, U. Stockmann, Y. Sulaeman, C. C. Tsui, T. G. Vagen, B. van Wesemael and L. Winowiecki. 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292:59-86.
- Mora, F., P. Balvanera, E. García-Frapolli, A. Castillo, J. N. Trilleras and D. Cohen-Salgado. 2016. Trade-offs between ecosystem services and alternative pathways toward sustainability in a tropical dry forest region. *Ecology and Society* 21:45-58. DOI:10.5751/es-08691-210445.
- Morse, S., B. McNamara and M. Acholo. 2009. Sustainable livelihood approach: critical analysis of theory and practice. *Geographical Paper No. 189*. The University of Reading. United Kingdom. 67 p.
- O'Neill, B. C., E. Kriegler, K. L. Ebi, E. Kemp-Benedict, K. Riahi, D. S. Rothman, B. J. van Ruijven, D. P. van Vuuren, J. Birkmann, K. Kok, M. Levy and W. Solecki. 2017: The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change* 42:169-180. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004.
- ONU. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Río de Janeiro.
- Oxfam, G. B. 1997. *Exchanging livelihoods – food security edition*. Policy Department. Oxfam. London.
- Oxfam, G. B. 1999. *Exchanging livelihoods – natural resources edition*. Policy Department. Oxfam. London.
- Paustian, K., J. Lehmann, S. Ogle, D. Reay, G. P. Robertson and P. Smith. 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532: 49-57.
- Pawson, R. 2006. *Evidence-based policy: a realist perspective*. Sage Publications. London. 208 p.
- Paz, F., S. Covalada y A. Ranero. 2014. Planteamiento de escenarios de intervención asociados a servicios ecosistémicos. Consultoría para Conservación Internacional México, Estudio de Factibilidad para promover el acceso de los usuarios del suelo a mecanismos de mercado de los SE carbono, agua y biodiversidad en la región Sierra-Costa de Chiapas. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. 25 p.
- Paz, F., S. Covalada, A. Ranero, X. Ugarte, E. Esquivel, M. I. Marín, R. Cuevas, B. de Jong y J. D. Etchevers. 2012. Estudio de Factibilidad para el mecanismo REDD+ en Chiapas. http://www.pmc carbono.org/pmc/proyectos/CI_Factibilidad_REDD+.php (Consulta: julio 10, 2020).
- Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. 2019b. *Estado del Ciclo del Carbono en México: Agenda Azul y Verde*. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México. ISBN 978-607-96490-7-4.
- Paz-Pellat, F. y S. Covalada. 2019a. Mercados del carbono: gobernanza, dilemas sociales, MRV y estrategias de implementación. *Elementos para Políticas Públicas* 3:105-128.
- Paz-Pellat, F., V. M. Romero-Benítez, J. A. Argumedo-Espinoza, M. Bolaños-González, B. de Jong, J. C. de la Cruz-Cabrera y A. S. Velázquez-Rodríguez. 2019c. Capítulo 23: Dinámica del uso del suelo y vegetación. pp. 529-572. En: Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. *Estado del Ciclo del Carbono en México: Agenda Azul y Verde*. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México. ISBN 978-607-96490-7-4.
- Pretty, J. N. 1995. Participatory Learning for Sustainable Agriculture. *World Development* 23: 1247-1263.
- Reyna-Ramírez, C. A., M. H. Fuentes-Ponce, W. A. H. Rossing y S. López-Ridaura. 2020. Caracterización de unidades de producción familiar agropecuarias mesoamericanas. *Agrociencia* 54:259-277.

- Reyna-Ramírez, C. A., L. M. Rodríguez-Sánchez, G. Vela-Correa, J. Etchevers-Barra and M. Fuentes-Ponce. 2018. Redesign to the traditional Mesoamerican agroecosystem based on participative ecological intensification: evaluation of the soil and efficiency of the system. *Agricultural Systems* 165:177-186.
- Sanderson, I. 2002. Evaluation, policy learning and evidence-based policy making. *Public Administration* 80: 1-22.
- Santos, M. 2000. *La Naturaleza del espacio: Técnica y Tiempo, Razón y Emoción*. Editorial Ariel. Barcelona. 348 p.
- Saynes-Santillán, V., J. D. Etchevers-Barra, F. Paz-Pellat y L. O. Alvarado-Cárdenas. 2016. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana* 34: 83-96.
- Scoones, I. 1998. Sustainable rural livelihoods: a framework for analysis. Working Paper 72. Institute for Development Studies. Brighton, UK. 22 p.
- Sen, A. K. 1984. *Resources, Values and Development*. Harvard University Press. Cambridge, Mass. 560 p.
- Sen, A. K. 1985. *Commodities and Capabilities*. Oxford University Press. Oxford, UK. 104 p.
- Shiferaw, B. and C. Bantillan. 2004. Agriculture, rural poverty and natural resource management in less favored environments: revisiting challenges and conceptual issues. *Food, Agriculture and Environment* 2:328-339.
- Soto-Pinto, L. y G. Jiménez-Ferrer. 2018. Contradicciones socio-ambientales en los procesos de mitigación asociados al ciclo del carbono en sistemas agroforestales. *Madera y Bosques* 24: e2401887. DOI:10.21829/myb.2018.2401887.
- TEEB. 2009. *The Economics of Ecosystem and Biodiversity for National and International Policy Makers*. UN Environment. Geneva. 456 p.
- TEEB. 2018. *TEEB for Agriculture and Food*. Scientific and Economic Foundations. UN Environment. Geneva. 414 p.
- Tomich, T., M. van Noordwijk, S. A. Vosti and J. Witcover. 1998. Agricultural development with rainforest conservation: methods for seeking best bet alternatives to slash-and-burn, with applications to Brazil and Indonesia. *Agricultural Economics* 19: 159-174.
- Trench, T., A. Larson, A. Libert-Amico and A. Ravikumar. 2018. Analyzing multilevel governance in Mexico. Lessons for REDD+ from a study of land-use change and benefit sharing in Chiapas and Yucatán. Working Paper 236. CIFOR, Bogor. 104 p.
- UNDP. 1990. *Human Development Report 1990*. United Nations Development Programme. Human Development Report Office. New York, USA. 141 p.
- van Ruijven, B. J., M. A. Levy, A. Agrawal, F. Biermann, J. Biermann, T. R. Carter, K. L. Ebi, M. Garschagen, B. Jones, R. Jones, E. Kemp-Benedict, M. Kok, K. Kok, M. C. Lemos, P. L. Lucas, B. Orlove, S. Pachauri, T. M. Parris, A. Patwardhan, A. Petersen, B. L. Preston, J. Ribot, D. S. Rothman and V. J. Schweizer. 2014. Enhancing the relevance of shared socioeconomic pathways for climate change impacts, adaptation and vulnerability research. *Climatic Change* 122:481-494. DOI: 10.1007/s10584-013- 0931-0.
- Villaseñor, E., L. Porter-Bolland, F. Escobar, M. R. Guariguata and P. Moreno-Casasola. 2016. Characteristics of participatory monitoring projects and their relationship to decision-making in biological resource management: a review. *Biodiversity and Conservation* 25: 2001-2019. DOI: 10.1007/s10531-016-1184-9.
- Vosti, S. A. and J. Witcover. 1996. Slash-and-burn agriculture – household perspectives. *Agricultural Ecosystems and Environment* 58:23-38.
- Vosti, S. A., J. Witcover, J. Gockowski, T. P. Tomich, C. L. Carpentier, M. Faminow, S. Oliveira and C. Diaw. 2000. Working group on economic and social indicators: report on methods for the ASB best bet matrix. *Alternatives of Slash-and-Burn Agriculture Programme (ASB)*. International Centre for Research in Agroforestry. Nairobi, Kenya. 41 p.
- Willett, W., J. Rockström, B. Loken, M. Springmann, T. Lang, S. Vermeulen, T. Garnett, D. Tilman, F. DeClerck, A. Wood, M. Jonell, M. Clark, L. Gordon, J. Fanzo, C. Hawkes, R. Zurayk, J. A. Rivera, W. De Vries, L. M. Sibanda, A. Afshin, A. Chaudhary, M. Herrero, R. Agustina, F. Branca, A. Lartey, S. Fan, B. Crona, E. Fox, V. Bignet, M. Troell, T. Lindahl, S. Singh, S. E. Cornell, K. S. Reddy, S. Narain, S. Nishtar and C. J. L. Murray. 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* 393: 447–492.
- Zadeh, L. A. 2006. Generalized Theory of Uncertainty: Principal Concepts and Ideas. *Computational Statistics and Data Analysis* 51:15-46.
- Zadeh, L. A. 1975. The concept of linguistic variable and its applications to approximate reasoning – I. *Information Sciences* 8:199-251.
- Zadeh, L. A. 2011. A note on Z-numbers. *Information Sciences* 181:2923-2932.

