

AGROECOLOGÍA Y SISTEMAS COMPLEJOS
*Planteamientos epistémicos, casos de estudio y
enfoques metodológicos*

Mariana Benítez • Tlacael Rivera-Núñez • Luis García-Barrios
(compiladores)

Peter R.W. Gerritsen ◊ Jaime Morales Hernández
(Prólogo)

Leonardo Tyrtania • Nils McCune • Yorlis Luna • John Vandermeer • Ivette Perfecto •
Cecilia González González • Ana L. Urrutia Cárdenas • Cristina Alonso-Fernández •
Emilio Mora Van Cauwelaert • Lorena Castro Campero • Luis Guillermo García Jácome •
Irene Ramos Pérez • Blanca Hernández Hernández • Mariana Benítez • Amy M. Lerner •
Yanus Andrés Dechnik Vázquez • Luis García-Barrios • Tlacael Rivera-Núñez •
Juana Cruz-Morales • Jorge Urdapilleta-Carrasco • Elizabeth Castro-Salcido •
Gabriel Ramos-Fernández • Martha Bonilla-Moheno • Eduardo García-Frapolli •
Celene Espadas Manrique • Coral E. Rangel Rivera

SOCLA–México
CopIt-arXives
Publishing Open Access
with an Open Mind
2021

Este libro contiene material protegido por leyes de autor

Todos los derechos reservados © 2021

Publicado electrónicamente en México, por CopIt-arXives en coedición con la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)–México.

Fotografía de portada: “Ponle la mazorca al maíz”, cortesía de Tania Lara García.

Obra editada por Eduardo Vizcaya Xilotl, Mariana Benítez y Tlacaoel Rivera-Núñez.

Agroecología y sistemas complejos. Planteamientos epistémicos, casos de estudio y enfoques metodológicos / [compiladores] M. Benítez, T. Rivera-Núñez, L. García-Barrios; [autores] Leonardo Tyrtania ... [y veinticinco más]. — México CDMX: CopIt-arXives y SOCLA–México, 2021

Incluye bibliografías e índice

ISBN: 978-1-938128-24-0 ebook

Derechos y permisos

Todo el contenido de este libro es propiedad intelectual de sus autores quienes, sin embargo, otorgan permiso al lector para copiar, distribuir e imprimir sus textos libremente, siempre y cuando se cumpla con lo siguiente: (i) el material no debe ser modificado ni alterado, (ii) la fuente debe ser citada siempre y los derechos intelectuales deben ser atribuidos a sus respectivos autores, (iii) estrictamente prohibido su uso con fines comerciales.

El contenido y puntos de vista planteados en cada capítulo es responsabilidad exclusiva de los autores y no corresponden necesariamente a los de los editores o a los de ninguna institución, incluidas CopIt-arXives o la UNAM.

Producido con software libre incluyendo \LaTeX . Indexado en el catálogo de publicaciones electrónicas de la UNAM y en Google Books.

Todas las figuras e imágenes son cortesía de www.wikimedia.org o bien de los autores, a menos que se señale lo contrario explícitamente.

Los compiladores agradecen el apoyo de DGAPA-UNAM a través del proyecto PAPIIT IN207819.

ISBN: 978-1-938128-24-0 ebook

<http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/copit/>

Este libro ha pasado por revisión de pares

CopIt-arXives

Cd. de México - Cuernavaca - Madrid - Curitiba
Viçosa - Washington DC - London - Oxford

Con el apoyo de la
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Instituto de Física

ÍNDICE

PRÓLOGO	VII
<i>Peter R.W. Gerritsen y Jaime Morales Hernández</i>	
INTRODUCCIÓN. ¿DE QUÉ HABLAMOS CUANDO HABLAMOS DE COMPLEJIDAD EN AGROECOLOGÍA?	IX
<i>Tlacaclael Rivera-Núñez, Mariana Benítez y Luis García-Barrios</i>	
Procesos que se intersectan: la complejidad constitutiva en agroecología . . .	IX
El caleidoscopio de capítulos que integran la obra	XIII
Agradecimientos	XVI
Bibliografía	XVII
¿ME DA SU HORA, POR FAVOR? ES TIEMPO DE ECOPOIESIS	1
<i>Leonardo Tyrtania</i>	
1. El horizonte de los sucesos	2
2. Permanecer en la espiral del vórtice	4
3. La energía no es renovable	10
4. ¿Qué hora es, entonces?	13
5. ¿Seguiremos siendo naturaleza?	16
6. Lo que debe crecer	18
7. La ecopoiesis tiene la última palabra	22
Referencias	25
CUESTIONES AGRARIAS Y TRANSFORMACIONES AGROECOLÓGICAS	27
<i>Nils McCune, Yorlis Luna, John Vandermeer e Ivette Perfecto</i>	
Introducción	28
Fases y facetas de la transición agroecológica	30
Agriculturas y economía campesina	31
La resiliencia de la economía campesina	34
Las transiciones críticas en sistemas complejos	35
Las transiciones críticas en la agricultura campesina: escala del campo . . .	37
Las transiciones críticas en la agricultura campesina: escala de unidad doméstica	40

La economía de la agroecología y la cuestión campesina en la transición agroecológica	44
Referencias	48
AGRICULTURA, BIODIVERSIDAD Y DIVERSIDAD CULTURAL	
EN PAISAJES CAMPESINOS: UNA RELACIÓN DE MUTUA DETERMINACIÓN	51
<i>Cecilia González González, Ana L. Urrutia Cárdenas, Cristina Alonso-Fernández, Emilio Mora Van Cauwelaert, Lorena Castro Campero, Luis Guillermo García Jácome, Irene Ramos Pérez, Blanca Hernández Hernández y Mariana Benítez</i>	
1. Punto de partida	51
2. El paisaje agrícola como escala de trabajo	53
3. Biodiversidad en la matriz agrícola: contribuciones desde la modelación matemática y computacional	54
3.1 Estrategias de producción agrícola y de conservación de la biodiversidad	54
3.2 Probando supuestos con modelos de metacomunidades en paisajes hipotéticos	55
4. ¿Cómo es la matriz agrícola en un un paisaje campesino? El caso de Zaachila, Oaxaca	57
4.1 Estructura espacial de una matriz agrícola campesina	59
4.2 Permeabilidad de los tipos de manejo agrícola: la artropofauna como indicador	61
4.3 Los modos de producción agrícola y la diversidad cultural	63
5. Conclusiones, aprendizajes y perspectivas	64
Referencias	67
LA AGRICULTURA COMO UN COMPONENTE CRÍTICO	
PARA LA RESILIENCIA URBANA	75
<i>Amy M. Lerner</i>	
1. Introducción	75
2. La ciudad como un sistema socio-ecológico complejo	76
3. Resiliencia urbana	77
4. La agricultura urbana y periurbana y su multifuncionalidad	78
5. El papel de la agricultura en y alrededor de la ciudad para una resiliencia urbana	79
6. Conclusiones	83
Referencias	84
SISTEMAS COMPUTACIONALES INTELIGENTES EN AGROECOLOGÍA	
<i>Yanus Andrés Dechnik Vázquez</i>	
1. Introducción	89
2. Desarrollo teórico	91
2.1 Sistemas basados en conocimiento explícito	92
2.2 Inteligencia computacional	93

2.3 Sistemas inteligentes híbridos	94
3. Cuerpo argumentativo	94
Aplicaciones de sistemas inteligentes en agroecología: un ejemplo sencillo	94
4. Discusión	98
5. Conclusiones	101
Referencias	101
RÍO DE VIDA CAMPESINA: UN JUEGO DE MESA SERIO PARA FAMILIAS RURALES QUE SIMULA LA COMPLEJIDAD DE SU REPRODUCCIÓN SOCIAL	105
<i>Luis García-Barrios, Tlacaclé Rivera-Núñez, Juana Cruz-Morales, Jorge Urdapilleta-Carrasco y Elizabeth Castro-Salcido</i>	
Introducción	105
Aproximación metodológica	108
La Cuenca Alta del Río El Tablón y nuestra estrategia de investiga- ción participativa para el aprendizaje inmanente	108
El diseño y la dinámica de juego de Río de Vida Campesina	110
Los talleres de implementación de Río de la Vida Campesina	113
Resultados	114
Validación interna del juego en la comunidad académica de práctica	114
Validación externa del juego con los equipos familiares	116
Las interacciones entre EFs durante la sesión multi-familiar	118
Discusión y conclusiones	118
Referencias	122
CAMBIO Y RESILIENCIA EN UN SISTEMA SOCIOECOLÓGICO DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	129
<i>Gabriel Ramos-Fernández, Martha Bonilla-Moheno, Eduardo García-Frapolli, Celene Espadas Manrique, Luis Guillermo García-Jácome, Mariana Benítez y Coral E. Rangel Rivera</i>	
1. Introducción	129
2. Antecedentes: OMYK como sitio de estudio	131
3. Metodología y toma de datos	133
3.1 Mapas de cobertura vegetal y uso del suelo	133
3.2 Información socioeconómica	134
3.3 Modelo dinámico	134
4. Cambios del socioecosistema	136
4.1 Cobertura vegetal	136
4.2 Sistema Socioeconómico	137
5. Modelo dinámico	138
6. Conclusiones	139
Referencias	140

⊙ *Esta es una página en blanco.* ⊙

PRÓLOGO

Peter R.W. Gerritsen¹ y Jaime Morales Hernández²

¹ Punto Focal de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) en México / Universidad de Guadalajara.

² Punto Focal de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología en México / Centro de Formación en Agroecología y Sustentabilidad.

Desde hace varias décadas, la agroecología ha recibido mucha atención, tanto en los círculos políticos como en los científicos, debido a su potencial para la recuperación y fortalecimiento de la sustentabilidad en los agroecosistemas y en los sistemas agroalimentarios. Este reconocimiento se ha visto reforzado por la actual pandemia ocasionada por el COVID-19.

Por un lado, la pandemia ha mostrado la fragilidad de los sistemas agroalimentarios dominantes, y aunado a esto, siguen acumulándose las evidencias de los impactos negativos de la agricultura agroindustrial, no solamente en México con el tema del glifosato o el tema de los organismos genéticamente modificados (los llamados “transgénicos”), sino también en otros países de América Latina y el mundo. Por otro lado, la actual pandemia del COVID-19 ha hecho más visible la gran cantidad de experiencias agroecológicas que existen y que son capaces de resistir las bruscas rupturas en las cadenas de provisión de alimentos. Es por eso que varios gobiernos de América Latina están buscando elaborar planes nacionales de transición agroecológica, como es el caso de México.

En términos generales, la agroecología se puede considerar como un enfoque científico-empírico para recuperar la sustentabilidad en los agroecosistemas y de los sistemas agroalimentarios. Si bien la agroecología ya tiene mucho tiempo en desarrollarse como ciencia, práctica y movimiento social, recientemente observamos una gran cantidad de nuevas publicaciones que se centran en la gran diversidad de miradas y de enfoques sobre cómo conceptualizarla y ponerla en práctica. Esto en sí muestra que ya no podemos hablar de una sola agroecología, sino que tenemos que reconocer la existencia de una gran cantidad de agroecologías. Esta diversidad de agroecologías la podemos explicar por su anclaje en las condiciones específicas de cada una de las regiones donde se busca fortalecer la agricultura a partir de la agroecología.

El presente libro, titulado *Agroecología y sistemas complejos. Planteamientos epistémicos, casos de estudio y enfoques metodológicos*, de los compiladores Benítez, Rivera-Núñez y García-Barrios, se inserta en una corriente que pugna por desarrollar una

mirada propia, en este caso desde las ciencias de la complejidad. Los autores enfatizan la complejidad constitutiva de la agroecología, que se puede abordar desde diferentes miradas y escalas, pero resultando siempre en comportamientos y dinámicas inestables y emergentes; y señalan la necesidad de contar con una perspectiva agroecológica integrada de diferentes “áreas de conocimiento, así como de nuevos marcos interpretativos y herramientas analíticas”. Es en este aspecto donde reside la principal contribución del presente libro, y que le otorga gran relevancia a su contenido, al proponer la participación de las ciencias de la complejidad en la construcción de las distintas agroecologías, y donde sus aportaciones son fundamentales para una ciencia, práctica y movimiento, que ayuden a avanzar hacia sistemas agroalimentarios más sustentables. La obra presenta también “herramientas para el pensamiento que pueden prepararnos para reconocer las huellas de la complejidad y para acercarnos al estudio, al manejo y a la transformación práctica de los agroecosistemas”, lo que constituye para las agroecologías un enorme reto de gran pertinencia, dado que las ciencias de la complejidad aún se encuentran “*en la piel* de los agroecosistemas y de los sistemas alimentarios”. Es así que el libro se integra por siete capítulos, de los cuales algunos se inclinan al ámbito epistémico, otros contienen un acercamiento metodológico y uno más se puede considerar empírico. Cada uno de los capítulos suministra una visión particular de la complejidad de los agroecosistemas y busca explorar sus implicaciones para la agroecología como ciencia, práctica y movimiento social.

El libro, como acertadamente señala la introducción, es un caleidoscopio y los contenidos de los diferentes capítulos abarcan desde la transición agroecológica para la soberanía alimentaria, la reproducción de la diversidad biológica y cultural asociada a matrices agrícolas campesinas, la resiliencia de los sistemas agroalimentarios urbanos y periurbanos, pasando por los sistemas computacionales y su aplicación en la agroecología, y la presentación de un juego serio como herramienta de aprendizaje de tercer orden y un espacio lúdico y seguro para que los hogares rurales hagan explícitas sus realidades, intercambien ideas y exploren posibilidades de acción y sus necesidades de cambio.

Es para nosotros un privilegio el prologar este libro y saludamos su llegada; es una aportación importante y novedosa para todos aquellos profesionistas interesados en entender y poner en práctica la agroecología desde la mirada de las ciencias de la complejidad.

19 de enero de 2021.

INTRODUCCIÓN

¿De qué hablamos cuando hablamos de complejidad en agroecología?

Tlacaélel Rivera-Núñez¹, Mariana Benítez^{2} y Luis García-Barrios³*

¹ Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur.

² Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Dirección Regional Sureste, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

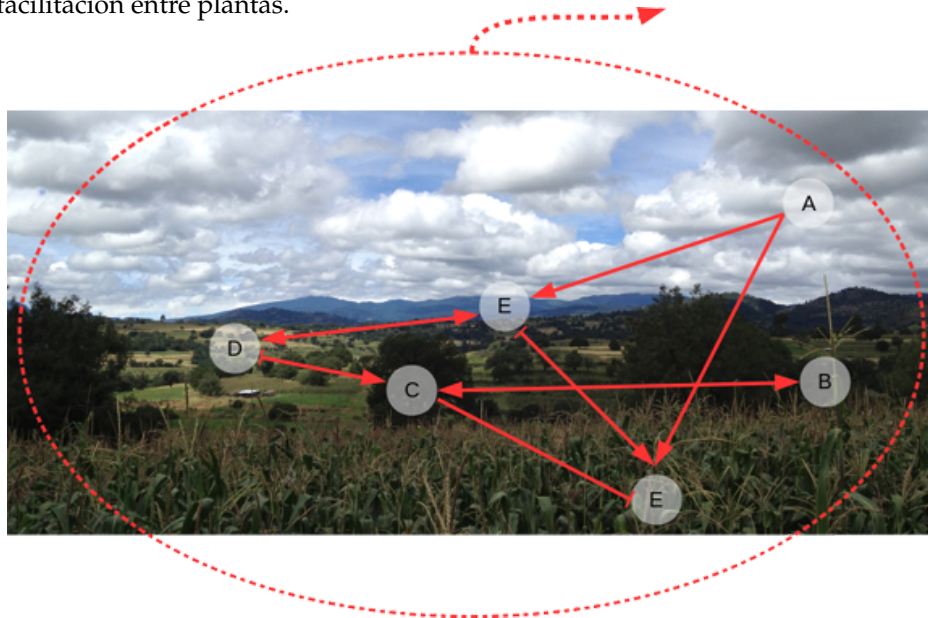
PROCESOS QUE SE INTERSECTAN: LA COMPLEJIDAD CONSTITUTIVA EN AGROECOLOGÍA

Desde cualquier apreciación que se tenga sobre la agroecología, involucrará procesos ecológicos y agrícolas en sentido amplio (flujos de materia y energía), tecnología (técnica, maquinaria e infraestructura), conocimientos y prácticas de manejo, así como propósitos y relaciones sociales, económicas y políticas. Dichos atributos o aspectos constitutivos de la agroecología pueden ser clasificados y entendidos como procesos teleomáticos (fines automáticos), teleonómicos (fines programáticos) y teleológicos (fines de previsión e intencionalidad humana) (Mayr, 1969; García-Barrios y García-Barrios, 2008; Rosen, 2012). Los procesos teleomáticos, teleonómicos y teleológicos se intersectan de múltiples formas, dando como resultado el abigarramiento de escalas espacio-temporales, así como comportamientos inestables y muy diversas dinámicas emergentes (May, 1973; Vandermeer & Perfecto, 2017a).

De hecho, muchas de las propiedades centrales en el estudio y manejo de los agroecosistemas dependen de la relación entre factores de muy diversa naturaleza material. Por ejemplo, la producción de biomasa en un agroecosistema depende no sólo del genotipo de las plantas cultivadas, como en ocasiones se supone, sino que también depende de las relaciones de mutua determinación entre procesos físico-químicos del suelo, las relaciones ecológicas entre las bacterias y otros organismos que ahí habitan, las prácticas de manejo asociadas a la labranza e incorporación de materia orgánica, la disponibilidad de agua y la capacidad del sistema de retenerla, entre otras cosas. Además de depender de múltiples causas, cabe mencionar que las propiedades de los agroecosistemas suelen exhibir cambios o dinámicas

* Autor de correspondencia: Laboratorio Nacional de Ciencias de Sostenibilidad, C.U., Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México. Tel. 5623-7712 / mbenitez@ieciologia.unam.mx

no lineales; dado lo intrincado de las relaciones causales subyacentes, la magnitud de los cambios en las causas (atributos puntuales del suelo o prácticas de manejo) no necesariamente corresponden a la magnitud de los cambios en la propiedad en cuestión (la producción de biomasa en el ejemplo). Lo mismo sucede con otras propiedades globales de los agroecosistemas y no sólo de alguna de sus partes aisladas, tales como la capacidad de responder a posibles plagas, la consecución de ciclos biogeoquímicos, la reproducción de la biodiversidad asociada o la resiliencia ante distintos tipos de perturbaciones. A su vez, estas propiedades globales o sistémicas afectan o modifican a los elementos individuales. Para continuar con el ejemplo, la biomasa total afecta a cada una de las plantas cultivadas al modificar su entorno: la disponibilidad de agua, luz solar, las relaciones de competencia o facilitación entre plantas.



Las propiedades más fundamentales de los agroecosistemas, productividad, diversidad o resiliencia, entre otras, pueden entenderse como propiedades sistémicas que surgen de la interacción entre factores ecológicos y sociales muy diversos e imbricados en distintas escalas.

El tipo de relaciones mencionadas nos habla de sistemas fundamentalmente distintos a los compuestos, por ejemplo, por bolas de billar que al interactuar (chocar) modifican su movimiento, pero siguen siendo las mismas. En los sistemas que nos ocupan, las interacciones entre elementos y entre las propiedades del sistema completo y sus partes, requieren de marcos mucho más amplios que los que puedan ser útiles para entender el movimiento de sistemas como el de las bolas de billar. Las interacciones multicausales no lineales, la riqueza dinámica de estos sistemas (incluyendo regímenes de comportamiento inesperado) y la relación de constante modificación entre el sistema completo y sus partes, demandan la

integración de diversas áreas de conocimiento, así como de nuevos marcos interpretativos y herramientas analíticas.

Si bien esta diversidad de causas y la complejidad de la estructura y dinámica de los agroecosistemas pueden resultar abrumadoras, se han avanzado ya diversas propuestas para su abordaje desde el punto de vista académico. Las denominadas ciencias de la complejidad han retomado y generado una plataforma de diversas teorías, conceptos, herramientas e instrumentos para ello. Desde los ecólogos R. Levins (1966) y R. Lewontin (Levins y Lewontin, 1985; Lewontin y Levins, 2007), hasta el físico G. Cocho (2017) y el sociólogo P. González Casanova (2004) han establecido importantes guías en esta ruta. Se han desarrollado lo que el embriólogo C. H. Waddington llamaba “herramientas para el pensamiento”, y que nos permiten identificar y acercarnos a algunas de las manifestaciones más evidentes de la complejidad. Más recientemente, los propiamente agroecólogos de la complejidad J. Vandermeer e I. Perfecto (2017b) han postulado en su libro *Ecological Complexity and Agroecology* un conjunto de temas o motivos que acusan la complejidad de los agroecosistemas y que surgen una y otra vez cuando se les mira desde esta perspectiva (Vandermeer, 2020a). Entre tales temas están las dinámicas caóticas, la autoorganización de arreglos espaciales, la sincronización de oscilaciones y las transiciones abruptas o críticas entre estados de un sistema (Vandermeer y Perfecto, 2017b). Por otro lado, el agroecólogo de sistemas P. Tittone (2014) ha propuesto una serie de criterios y guías prácticas para transitar del análisis más convencional en agronomía hacia una agroecología que reconoce la complejidad intrínseca de los agroecosistemas; nos invita a pensar en la diversidad como un atributo y no como un lastre, en comunidades ecológicas y no en poblaciones aisladas, en propiedades emergentes en vez de en promedios y rasgos aditivos; pensar en relaciones de retroalimentación, histéresis y estocasticidad, en vez de en desenlaces y trayectorias predecibles. Todas ellas constituyen herramientas para el pensamiento que pueden prepararnos para reconocer las huellas de la complejidad y para acercarnos al estudio, al manejo y a la transformación práctica de los agroecosistemas.

No obstante su enorme aporte y utilidad, las herramientas para el pensamiento que mencionamos líneas arriba aún requieren ser enriquecidas con las particularidades de diferentes casos de estudio, así como con métodos y prácticas de investigación que permitan aterrizarlas en diversos contextos. Por otro lado, estas herramientas requieren dialogar con el sentido común, los conocimientos y las percepciones de quienes trabajan los agroecosistemas día con día. Así, la agroecología va mucho más allá de la investigación científica y del ámbito académico, pues se ubica también como un movimiento social y como una serie de prácticas concretas para la transformación de los sistemas agroalimentarios hacia modelos justos, resilientes y sostenibles (Francis *et al.*, 2003; Wezel *et al.*, 2009; Rosset y Altieri, 2018). Es aquí donde las aproximaciones desde las ciencias de la complejidad enfrentan quizá sus principales retos. Si bien hay abordajes heterodoxos que han permitido establecer un diálogo entre el estudio de los agroecosistemas y los sistemas agroalimentarios como sistemas complejos y el conocimiento que de ellos tienen los campesinos y actores que los moldean (*e.g.* Lansing, 2006; González *et al.*, 2016; Ramos

et al., 2018; Dechnik-Vázquez *et al.*, 2019; Urrutia *et al.*, 2020), todavía es necesario ensayar y poner en práctica formas de trabajo colectivo en las que, por ejemplo, los modelos matemáticos o computacionales que suelen desarrollarse desde las ciencias de la complejidad sean abstraídos, pensados y utilizados colectivamente con quienes habitan los territorios en donde avanza la agroecología en la práctica y como movimiento social (Speelman *et al.*, 2014; García-Barrios *et al.*, 2017; Braasch *et al.*, 2018). En una de sus visitas a México, R. Levins (2015) comentó lo siguiente en relación a los abordajes desde las ciencias de la complejidad en medicina:

El problema es que hay que dejar fuera a las relaciones sociales. Aun la medicina funcional, que es un paso adelante en nuestro entendimiento de cómo funciona el cuerpo, se detiene cuando llega a la piel. El practicante de la medicina funcional puede fácilmente preguntar por las relaciones entre el intestino y el cerebro, las enzimas del hígado y los neurotransmisores; lo hace, pero no pregunta qué es lo que hacemos, cómo incluimos las condiciones de empleo de las personas que sufren de diabetes... Los límites están impuestos, permanecen las fronteras entre cada campo, aun cuando estamos empujando para extender los límites.

Aunque existen prometedoras propuestas para ir más allá y establecer sinergias basales entre la agroecología, las nuevas herramientas de investigación heterodoxas y los conocimientos y prácticas campesinas (*e.g.* Benítez *et al.*, 2014; Benítez, 2018; Valencia *et al.*, 2019; Ong y Liao, 2020; Barba-Escoto *et al.*, 2020; Doi *et al.*, 2020; García-Jácome *et al.*, 2020; Vandermeer, 2020b), las ciencias de la complejidad han tendido a *quedarse en la piel* de los agroecosistemas y de los sistemas alimentarios.

Reconociendo el valor fundamental y el potencial de las aproximaciones desde las ciencias de la complejidad, pero también las que han sido sus limitaciones y sus retos, pensamos importante abordar, entre otras, preguntas tales como: ¿Cuáles serían las singularidades y aportes de reconocer y aproximarnos a la complejidad agroecológica? ¿Cómo dotarnos como agroecólogas y agroecólogos de nuevos andamiajes y herramientas de investigación? ¿Cómo dialogaría la complejidad agroecológica con otras agroecologías, actores y sectores de interés? ¿Qué rasgos tendría dicha complejidad agroecológica para el caso mexicano, por ejemplo? ¿Cómo lidiar con la supuesta objetividad/neutralidad de los modelos desarrollados comúnmente en el marco de ciencias de la complejidad y llevar la complejidad agroecológica hacia la construcción participativa? ¿Cómo lidiar con la reificación de modelos y con la hegemonía epistémica de la que suelen gozar?

Estas son las preguntas que han motivado la elaboración del presente libro. Aunque no todas ellas se abordan explícitamente en los capítulos que componen este volumen, los trabajos aquí recopilados abonan, en algún sentido u otro, tanto a responder las preguntas planteadas, como a abrir nuevas preguntas, plantear otras herramientas para el pensamiento y rutas metodológicas que puedan articular enfoques epistémicos nuevos, la modelación cualitativa, las aproximaciones estadísticas y la simulación computacional, con los métodos de la ecología moderna, las ciencias sociales y la investigación participativa dentro y fuera de la

academia. A continuación, presentamos brevemente los capítulos del libro y destacamos algunos de sus aportes, bajo el crisol de las ciencias de la complejidad y de la necesidad y pertinencia de avanzar hacia el reconocimiento y estudio de la complejidad agroecológica.

EL CALEIDOSCOPIO DE CAPÍTULOS QUE INTEGRAN LA OBRA

En el primer capítulo, “¿Me da su hora, por favor? Es tiempo de ecoipoiesis”, Leonardo Tyrtania elabora una reflexión y una propuesta epistémica a las preguntas: ¿cuánto tiempo nos queda como especie?, y ¿las sociedades humanas podemos aprender a compartir el mundo, tanto entre nosotros, como con los demás seres vivos y actantes con los que co-habitanos una misma y única biósfera? Hay una pequeña cualidad que hace nuestra diferencia como especie, sostiene Tyrtania, y esta consiste en el uso de energía que no necesariamente tiene que proceder de los circuitos orgánicos y de los controles locales de los ecosistemas, con todo lo que ello implica. Estas preguntas y pequeña diferencia nos sitúan en el juego de la *complejidad*, esto es, en la expansión/contracción energética simultánea al borde del caos. La termodinámica y los sistemas disipativos serían los marcos analíticos, y la principal regla del juego: la energía nunca se ofrece gratis por sí sola; la disipación se compensa con más disipación, no con menos. El autor plantea la existencia de dos modelos paradigmáticos al juego: i) el estado estacionario de la economía y su mecánica de la utilidad como huida vertical hacia adelante, y ii) el tiempo de convivencia horizontal de la ecoipoiesis como hora cero. El recambio entre la autoipoiesis de los biólogos chilenos Maturana y Varela y la ecoipoiesis del antropólogo evolucionista mexicano es la que tiene lugar entre la reproducción simple (a nivel biológico) y la reproducción ampliada (a nivel ecológico y social). Como bien menciona Tyrtania –siguiendo al heterodoxo filósofo Bruno Latour– el planteamiento no deviene un mobiliario ontológico sino un asunto altamente pragmático y de primer orden para la permanencia en el juego del autoproclamado *sapiens*. Por ejemplo, si llevamos las preguntas raíz, el marco analítico, así como el juego con sus reglas y modelos al ámbito agroalimentario, la cuestión iría en preguntarnos por agriculturas y economías compatibles con el funcionamiento de la biósfera y su ecocapacidad de recuperación. ¿Es la agroecología el mapa energético-ecológico-social más sutil para producir-distribuir alimentos y compartir el mundo con los no humanos?, o lo que es lo mismo: ¿en qué medida puede ser la agroecología el modelo agrícola y social de convivencia horizontal con el entorno?

En el capítulo 2, “Cuestiones agrarias y transformaciones agroecológicas”, Nils McCune y colaboradores parten de preguntarse si puede haber una verdadera transición agroecológica sin que tengan lugar profundas transformaciones en los voraces componentes económicos, sociales y políticos del sistema capitalista. Si los presuntos escapes al capitalismo están llenos de simulación, tropiezos históricos y poca capacidad de acuerdo, entonces qué diferencia al planteamiento y la práctica agroecológica como una alternativa seria para la transición a nuevos modelos alimentarios y ecológicos. Las y los autores buscan aproximarse a estas preguntas

a partir de los enfoques de investigación de las transiciones críticas, provenientes de los sistemas complejos adaptativos, por un lado, y por otro, a partir de los equilibrios dinámicos que, constituyen un principio organizativo e histórico de las economías campesinas. McCune *et al.* plantean que la transición agroecológica es un proceso complejo de retroalimentaciones imbricadas en las que el epicentro es moverse de la fase crítica que representan las agriculturas con economías basadas en el capital, a un nuevo estado de agriculturas con economías fundamentadas en el trabajo campesino. El concepto movilizador para la transición agroecológica es la soberanía alimentaria, entendida como territorio inmaterial en la batalla simbólica y como territorio material en la construcción concreta de nuevas realidades organizativas, agrícolas y propiamente alimentarias.

En el tercer capítulo, “Agricultura, biodiversidad y diversidad cultural en paisajes campesinos: una relación de mutua determinación”, Cecilia González y colaboradoras ilustran el uso de herramientas de los sistemas complejos para aterrizar debates y conceptos de la agroecología en un estudio de caso en Oaxaca, México. En este capítulo, las autoras sintetizan diversos avances de trabajo teórico y práctico respecto al estudio de una matriz agroecológica modelada por miles de años de trabajo campesino. Por un lado, presentan y discuten el uso de modelos de redes para estudiar la persistencia de especies en paisajes heterogéneos. Por otro lado, desarrollan una propuesta para la caracterización del paisaje que estudian en Oaxaca, en términos de heterogeneidad y de permeabilidad para las especies silvestres. En conjunto, aportan evidencia respecto a los mecanismos que pueden contribuir a la reproducción de la diversidad biológica y cultural, asociadas a matrices agrícolas campesinas.

En el capítulo 4, “La agricultura como un componente crítico para la resiliencia urbana”, Amy Lerner aborda la relación entre la agricultura, la vida y ecología urbanas desde el marco de los sistemas socioecológicos. Este capítulo contribuye a la integración de fenómenos sociales y ecológicos de las ciudades, así como a la concreción en este contexto de las nociones de los sistemas complejos que se han retomado en el estudio de los sistemas socioecológicos. En particular, la autora discute sobre el concepto de resiliencia, vista como conectividad, diversidad o redundancia, y contribuye a identificar el papel de la agricultura en la resiliencia de las ciudades y de las zonas rurales con las que históricamente han sostenido relaciones ecológicas y sociales. Este capítulo destaca la importancia de comprender qué elementos confieren resiliencia a los sistemas agroalimentarios urbanos y periurbanos, un tema central para las acciones y propuestas que puedan desarrollarse en la búsqueda de la seguridad y la soberanía alimentarias.

En el quinto capítulo, “Sistemas computacionales inteligentes en agroecología”, Yanus Dechnik-Vázquez problematiza la falta de metodologías computacionales que automaticen la resolución de problemas en agroecología, enfoque hasta ahora predominante y cuasi exclusivo de la agricultura de precisión. El autor plantea que el uso de software y hardware libres, accesibles, amigables y de filosofía socialmente comprometida pueden dotar de efectividad a una agroecología que no se encuentra exenta de imprecisiones de conocimiento, brechas técnicas y ávida

de nuevos métodos para sistematizar sus prácticas. Entre las betas de oportunidad para avanzar el enfoque, Dechnik-Vázquez sugiere iniciar con el diseño de planes de transición agroecológica, evaluación y predicción de cambios en los suelos, control de plagas y manejo integrado de policultivos. Los grandes retos desde la mirada del autor son: a) cómo desmitificar el uso tecnológico en las agriculturas no industriales, y b) de qué manera acercar estas nuevas prácticas y su enseñanza a actores y sectores sin muchas posibilidades adquisitivas ni apoyos gubernamentales, como los que figuran en la denominada agroecología latinoamericana.

En el capítulo 6, “Río de Vida Campesina: un juego de mesa serio para familias rurales que simula la complejidad de su reproducción social”, Luis García-Barrios y colaboradores plantean que durante las últimas tres décadas las políticas neoliberales, en los denominados países subdesarrollados, han contribuido sustancialmente a deteriorar las condiciones de vida de la población campesina y, en consecuencia, han surgido numerosas aproximaciones académicas y agendas de desarrollo que buscan contrarrestar las condiciones de pobreza de las zonas rurales bajo diferentes esquemas de participación e inclusión de las propias demandas y aspiraciones de la gente del campo. Partiendo del marco analítico de los medios de vida rurales, los autores presentan el diseño y la implementación del juego de mesa serio denominado “Río de la Vida Campesina” (RVC) que captura los componentes y la dinámica de reproducción social de hogares campesinos marginados contemporáneos y simula comportamientos sobre las estrategias y trayectorias de vida que pueden ser observados empíricamente en los territorios rurales.

RVC es un juego de mesa complejo y a la vez amigable que fue desarrollado y parametrizado con información y conocimientos surgidos por los autores tras 15 años de interacción y discusión constante con los pobladores del territorio montañoso neotropical conocido como Reserva de la Biosfera MAB-UNESCO “La Sepultura”, en la Sierra Madre de Chiapas, México. El dispositivo permite a los diferentes miembros de los hogares rurales tomar decisiones como equipo sobre un conjunto de capacidades impermanentes e interdependientes que deben reproducir continuamente en ciclos anuales, negociando la distribución de beneficios con actores externos en campos sociales inciertos, pero con variaciones conocidas. El juego fue implementado en talleres realizados en seis ejidos de La Sepultura, en los que participaron 126 pobladores rurales (jefes/jefas de familia y jóvenes) integrantes de 44 hogares que condujeron la herramienta de investigación por trayectorias ascendentes, descendentes o de equilibrio inestable en la reproducción de sus capacidades de vida. Los autores concluyen reflexionando sobre: (a) cómo a diferencia de la mayoría de aproximaciones académicas que buscan incidir en la transformación de la vida rural a partir de suposiciones sobre las necesidades y los roles que deben jugar los sectores campesinos en la sociedad más amplia (enfoque intervencionista), RVC representa una herramienta de aprendizaje de tercer orden y un espacio lúdico y seguro para que los hogares rurales hagan explícitas sus realidades, intercambien ideas y exploren posibilidades de acción y sus necesidades de cambio (enfoque inmanente); y (b) el gran potencial de transferibilidad de RVC a otros contextos campesinos, ya que logra compaginar componentes de in-

vestigación nomotéticos (procesos abstractos) e ideográficos (procesos históricos) sobre la vida rural.

Finalmente, en el capítulo séptimo, “Cambio y resiliencia en un sistema socioecológico de la Península de Yucatán”, Gabriel Ramos y colaboradores parten de un estudio de caso, ampliamente documentado, para avanzar una propuesta de análisis de los sistemas socioecológicos que vaya más allá del fraccionamiento o división del sistema en un conjunto de elementos que corresponden a un dominio disciplinario. En particular, los autores muestran cómo la integración de componentes y fenómenos ecológicos y sociales, que han sido estudiados por diversos grupos durante décadas, permite analizar qué factores confieren, en conjunto, resiliencia a todo el socioecosistema. Su propuesta involucra el desarrollo de un modelo matemático y computacional basado en algunas de las herramientas más usadas en las ciencias de la complejidad, a saber, los modelos de agentes y los modelos de redes. Dicho modelo se plantea como una herramienta útil para explorar algunos escenarios futuros, basados en datos, sobre los cambios en la cobertura vegetal y el uso de suelo, así como sobre aspectos demográficos de la población de monos araña (*Ateles geoffroyi*).

Dado que la resiliencia está relacionada con la capacidad de enfrentar la incertidumbre y el cambio, su estudio en un área natural protegida cuyas condiciones sociales, políticas y ecológicas están cambiando constantemente, se vuelve sumamente relevante y pertinente para el caso de estudio presentado y para muchos otros casos en zonas de alta biodiversidad. Idealmente, este tipo de aproximaciones podrían informar o facilitar acuerdos a nivel comunitario o institucional que involucren escalas espacio-temporales amplias para el uso de recursos.

AGRADECIMIENTOS

Para cerrar la presentación de la obra, resulta preciso mencionar que este libro surgió a partir de la mesa “Procesos complejos en Agroecología: Problemáticas, enfoques e interlocuciones desde y para los territorios campesinos”, la cual se llevó a cabo como parte del Primer Congreso Mexicano de Agroecología, celebrado en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, en mayo del 2019. Agradecemos a los organizadores centrales del Congreso, Cecilia Elizondo y Ramón Mariaca, por el impulso y las facilidades que dieron para el trabajo en esta mesa. Cinco de los capítulos del libro son de alguna manera versiones ampliadas de contribuciones al programa original de la mesa. Los capítulos de este libro fueron revisados por un conjunto de especialistas cuyo anonimato se mantuvo durante el proceso de revisión, pero a quienes queremos reconocer explícitamente en este espacio. Agradecemos profundamente a Bárbara Ayala-Orozco, Luis Bracamontes Nájera, Omar Giraldo, Alejandra Guzmán Luna, Emilio Mora Van Cauwelaert, Julieta Rosell, Jaime Cuauhtémoc Negrete y Alicia Tenza-Peral, por su labor como revisores de los diferentes capítulos de este libro. La retroalimentación y las reflexiones surgidas en el proceso de revisión de cada capítulo aportaron significativamente no sólo a los capítulos individuales, sino también al volumen completo.

También estamos profundamente agradecidos con Peter Gerritsen y Jaime Morales por prologar la obra, y por las valiosas gestiones para culminar la coedición con SOCLA-México. Asimismo, agradecemos el gran entusiasmo de la editorial CopIt-arXives para abrazar temas como los que trata este libro, en particular a su fundador, Octavio Miramontes Vidal, por su labor catalizadora en la difusión de forma abierta; de igual modo, agradecemos la colaboración de Eduardo Vizcaya Xilotl, quien llevó a cabo una cuidadosa corrección y formación de este volumen.

Finalmente, agradecemos el apoyo financiero otorgado por el proyecto PAPIIT-DGAPA-UNAM (IN207819).

BIBLIOGRAFÍA

- Barba-Escoto, L., Van Wijk, M., & López-Ridaaura, S. (2020). Non-linear Interactions Driving Food Security of Smallholder Farm Households in the Western Highlands of Guatemala. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 51.
- Benítez, M. (2018). Ecological evolutionary developmental biology in dialogue with agroecology: The Milpa as model system. *INTERdisciplina*, 6(14), 69–87.
- Benítez, M., Fornoni, J., García-Barrios, L. and López, R. (2014). Networks in agroecology. In: M. Benítez, O. Miramontes and A. Valiente-Banuet (eds.), *Frontiers in Ecology, Evolution and Complexity* (pp. 64–77). CDMX: EditoraC3; CopIt-arXives.
- Braasch, M., García-Barrios, L., Cortina-Villar, S., Huber-Sannwald, E. & Ramírez-Marcial, N. (2018). TRUE GRASP: Actors visualize and explore hidden limitations of an apparent win-win land management strategy in a MAB reserve. *Environmental Modelling & Software*, 105, 153–170.
- Cocho, G. (2017). *Ciencia, Humanismo, Sociedad. De los sistemas complejos a la imaginación heterodoxa*. CDMX: EditoraC3; CopIt-arXives.
- Dechnik-Vázquez, Y.A., García-Barrios, L., Ramírez-Marcial, N., van Noordwijk, M. & Alayón-Gamboa, A. (2019). Assessment of browsed plants in a sub-tropical forest frontier by means of fuzzy inference. *Journal of Environmental Management*, 236, 163–181.
- Doi, T., Sakurai, G. and Iizumi, T. (2020). Seasonal Predictability of four major crop yields worldwide by a hybrid system of dynamical climate prediction and eco-physiological crop-growth simulation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4, 84.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C. & Poincelot, R. (2003). Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), 99–118.
- García-Barrios, L., Cruz-Morales, J., Vandermeer, J. & Perfecto, I. (2017). The Azteca chess experience: learning how to share concepts of ecological complexity with small coffee farmers. *Ecology and Society*, 22(2), 37.
- García-Barrios, R. y García-Barrios, L. (2008). La sociedad controlable y la sustentabilidad. En: M. Astier, O. Masera y Y. Galván-Miyoshi (coords.), *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional* (pp. 173–192). México: Mundi-Prensa; ECOSUR; SEAE; CIECO-UNAM; CIGA-UNAM; GIRA.
- García-Jácome, L.G., García-Frapolli, E., Bonilla-Moheno, M., Rangel-Rivera, C., Benítez, M. & Ramos-Fernández, G. (2020). Multiple Resource Use Strategies and Resilience of a Socio-ecosystem in a Natural Protected Area in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 522657.

- González Casanova, P. (2004). *Las nuevas ciencias y las humanidades: de la academia a la política*. Anthropos Editorial.
- González González, C., López Martínez, R., Hernández López, S. & Benítez, M. (2016). A dynamical model to study the effect of landscape agricultural management on the conservation of native ecological networks. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(9), 922–940.
- Lansing, J.S. (2006). *Perfect order: Recognizing complexity in Bali*. Princeton University Press.
- Levins, R. (1966). The strategy of model building in population biology. *American Scientist*, 54(4), 421–431.
- Levins, R. (2015). *Una pierna adentro, una pierna afuera*. CDMX: EditoraC3; CopIt-arXives.
- Levins, R., & Lewontin, R. C. (1985). *The dialectical biologist*. Harvard University Press.
- Lewontin, R.C. & Levins, R. (2007). *Biology under the influence. Dialectical essays on ecology, agriculture, and health*. Monthly Review Press.
- May, R.M. (1973). Stability in randomly fluctuating versus deterministic environments. *The American Naturalist*, 107(957), 621–650.
- Mayr, E. (1969). The biological meaning of species. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1(3), 311–320.
- Ong, T.W.Y. & Liao, W. (2020). Agroecological transitions: a mathematical perspective on a transdisciplinary problem. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 91.
- Ramos, I., González, C.G., Urrutia, A.L., Van Cauwelaert, E.M., & Benítez, M. (2018). Combined effect of matrix quality and spatial heterogeneity on biodiversity decline. *Ecological Complexity*, 36, 261–267.
- Rosen, R. (2012). *Anticipatory systems*. New York: Springer.
- Rosset, P. y Altieri, M. (2018). *Agroecología. Ciencia y política*. Icaria.
- Speelman, E.N., García-Barrios, L.E., Groot, J.C.J., & Tittonell, P. (2014). Gaming for smallholder participation in the design of more sustainable agricultural landscapes. *Agricultural Systems*, 126, 62–75.
- Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53–61.
- Urrutia, A.L., González-González, C., Van Cauwelaert, E.M., Rosell, J.A., García-Barrios, L., & Benítez, M. (2020). Landscape heterogeneity of peasant-managed agricultural matrices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292, 106797.
- Valencia Mestre, M.C., Ferguson, B.G. & Vandermeer, J. (2019). Syndromes of production and tree-cover dynamics of Neotropical grazing land. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(4), 362–385.
- Vandermeer, J. (2020a). *John Vandermeer – The dialectics of ecology: biological, historical and political intersections* (G. Smith, ed.). Museum of Zoology, University of Michigan.
- Vandermeer, J. (2020b). Confronting Complexity in Agroecology: Simple Models from Turing to Simon. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 95.
- Vandermeer, J. & Perfecto, I. (2017a). Ecological complexity and agroecosystems: Seven themes from theory. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(7), 697–722.
- Vandermeer, J. & Perfecto, I. (2017b). *Ecological Complexity and Agroecology*. Routledge.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503–515.

¿ME DA SU HORA, POR FAVOR? ES TIEMPO DE ECOPOIESIS

Leonardo Tyrtania*

Departamento de Antropología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

RESUMEN: ¿Cuánto tiempo nos queda? Desde una perspectiva ecológica el diagnóstico del estado de la biósfera es de pronóstico reservado. El daño para el hábitat humano es progresivo e irreversible. Los ciclos vitales de los ecosistemas de la Tierra se están desarticulando. El combate del “cambio climático” tiene mucho de simulacro y nada de efectividad. La pregunta es si las sociedades humanas pueden aprender a compartir el mundo, tanto entre ellas, como con los demás seres vivos. Hay quienes piensan en el *estado estacionario* de la economía como la solución. Revisar esta propuesta, así como la de *sustentabilidad*, a la luz de la *dinámica energética* elemental permitiría llevar la discusión a escenarios más realistas. En la naturaleza todo intercambio es cuestión de ciclos en los que un proceso le hace de reloj a otro para que puedan trabajar juntos. Sincronizar las acciones es propio de la naturaleza, no sólo de los seres humanos en sociedad. Es la dinámica energética, no la “mecánica de la ganancia”, la que explica cómo funciona nuestro mundo. Es la hora de ecoipoiesis: de convivencia horizontal *versus* complejidad vertical.

CONCEPTOS BÁSICOS: Autopoiesis/ecoipoiesis, energía/entropía, evolución/predicamento entrópico, sustentabilidad/termodinámica de procesos no lineales.

May you give me your time, please? It is time for ecoipoiesis

ABSTRACT: How many times we have? From ecology’s perspective, the diagnosis of the state of the biosphere is of reserved forecast. The damage is making an irreversible progress for human habitat. The vital rhythms of the earth’s ecosystems are being disarticulated. The fight against *climate change* seems more of a show-off pantomime than an effective effort. The question is when and how human societies could learn to share the world, both among them, as with other living beings. There are those who propose the *steady state* of economics as the solution. The review of this proposal, as well as that of sustainability, in the light of the elemental *energetic dynamics* would allow the discussion to enter more realistic scenarios. Every kind of exchange is, in nature, a matter of rhythms in which one process plays the role of a clock for another, so they can work together. The synchronization of actions is a characteristic of nature, and not only of human beings in society. It is the energetic dynamics, not the “mechanics of profit”, which explains how our world works. It is the time for ecoipoiesis: horizontal coexistence versus vertical complexity.

KEY WORDS: Self-organization/ecoipoiesis, energy/entropy, evolution/entropic predicament, sustainability/thermodynamics of nonlinear processes.

* It@xanum.uam.mx

1. EL HORIZONTE DE LOS SUCESOS

En relación con la crisis ecológica en curso surgen voces en la academia de quienes abogan por un estado estacionario de la economía, eso al amparo del argumento de que tal cosa es posible a partir de las leyes naturales. Las sociedades industrializadas las trasgreden sistemáticamente, se argumenta, extrayendo los recursos por encima de la capacidad de recuperación de los ecosistemas. Ahora, que ya se ha acumulado un enorme caudal de conocimiento y se dispone de tecnologías adecuadas, ¿no podrían las sociedades humanas ponerse de acuerdo de una vez por todas para llevarnos bien con la naturaleza?, ¿no podríamos tomar como modelo a los ecosistemas e implementar un estilo de vida sustentable? Un bosque, por ejemplo, puede funcionar durante siglos produciendo su biomasa a partir de la energía solar y reciclando sus materiales pausadamente, sin premura, alimentando todas las criaturas que viven de él.

Sin premura, pues, pero no sin desgaste. También en el caso de ecosistemas prístinos no intervenidos se produce el deterioro, pues nada es para siempre. En este mundo no es posible sobrevivir sin disipar energía. Algunos elementos se renuevan, pero no todos. Los suelos de un bosque, por ejemplo, se laterizan con el tiempo, sin que se pueda hacer nada al respecto. A escala humana el tiempo de vida de un ecosistema cualquiera puede parecer una eternidad, pero es sólo cuestión de escala. Es por esa razón que ninguna sociedad humana puede imitar a un ecosistema. Las sociedades son parte de algún ecosistema, o bien de varios de ellos. La regla es que los sistemas vivos operan unos a expensas de otros hasta agotar existencias. Las sociedades humanas pronto aprendieron el manejo de muchos ecosistemas simultáneamente y de energías de fuentes no orgánicas, lo que les dio ventajas; sin embargo, en cuanto a los insumos vitales de primera necesidad (aire, agua, alimento), las sociedades dependen de su medio mientras éste permanezca como ambiente benigno. Y este medio todavía es la biósfera.

En cuanto al funcionamiento de los ecosistemas, no todo es selección competitiva sin más (Laland *et al.*, 2015). Un ecosistema es una red de intercambios tróficos, los que a su vez conforman ciclos que se sincronizan sobre la marcha. Las plantas no parecen tener prisa y, de toda la energía que llega del Sol, la fotosíntesis aprovecha entre un 2 o 3 por ciento (Margalef, 1980). El por qué los vegetales son tan poco eficientes en la producción primaria es una buena pregunta y habría que formularla con más precisión, esto es, en términos de la energética. La relojería interna de los vegetales los hace trabajar pausadamente, al ritmo de los días, las estaciones y las épocas geológicas. Si bien las plantas procesan sus insumos lentamente, los animales disputan las fuentes de energía con un manifiesto apuro, aprovechando las ventajas de la movilidad. En esto destacan los humanos, especie a la que no le interesa una vida vegetativa larga y tranquila, observa Nicholas Georgescu-Roegen (1975). En especial las sociedades contemporáneas, imbuidas en la tecnósfera que envuelve al globo terráqueo casi por completo, están practicando una suerte de “huida hacia adelante” a gran velocidad, en medio de una competencia por los recursos cada vez más violenta y voraz. La “huella ecológica” que dejan las so-

ciudades industrializadas en el planeta está desarticulando los ciclos vitales de la biósfera, sin dejar tiempo a los ecosistemas y a las especies que los componen para adaptarse a las nuevas circunstancias. La pregunta es si tienen suficiente velocidad de escape para separarse de lo que consideran “naturaleza” para vivir más adelante por su cuenta.¹

Si no podemos imitar a un ecosistema en su parsimonia y sobriedad, entonces ¿cuál es la opción? ¿Será posible subordinar la biósfera entera a las necesidades de una sola especie, en este caso a la urbanita, y exigirles a los ecosistemas que nos presten “servicios ambientales” gratuitos? La respuesta es que sí, se puede, pero no por mucho tiempo. Dada la necesidad de emplear más y más energía e ir cada vez más de prisa, el tiempo restante se va acortando. Mientras haya aire respirable, agua potable y suelo agrícola disponible no habrá problemas, pero son precisamente estos elementos del hábitat humano los que se están acabando. El secreto del éxito evolutivo de nuestra especie es la capacidad de explotar flujos energéticos de distinto origen, composición y potencialidad. Desde que los humanos aprendieron el manejo del fuego quemaron la biósfera casi toda y varias veces. A la quema de carbono vegetal se agregó la de los combustibles fósiles y nucleares, así como el aprovechamiento de fuentes eólicas y solares. El resultado global de esa larga historia de éxitos es una serie de calamidades, tales como “destrucción del hábitat, especies invasoras, superpoblación y sobreexplotación, en este orden de importancia” (Wilson, 2014, p. 341).

El modelo de *ecosistema* no sirve para entender la sociedad humana, ni siquiera como una metáfora con licencia poética.² Una sociedad es un subconjunto de un sistema inclusivo y una parte no puede controlar el todo. Las sociedades tecnificadas contemporáneas dan la impresión de haberse liberado de las condiciones ecosistémicas locales en la medida en que logran conectar ecosistemas distantes mediante el transporte de materiales, mercancías y deshechos. Gracias a esa interconexión podemos vivir por encima de las posibilidades de la biocapacidad de los ecosistemas que nos rodean y no nos importa tratarlos como basureros a cielo abierto. Empezamos a sospechar que eso no traerá nada bueno para el planeta, pero nos consuela mucho pensar que todavía no ha pasado lo peor. ¿Cuánto tiempo nos queda para que pase? Poco podemos prever más allá del horizonte de los sucesos.

Cuando se trata de fenómenos no lineales es posible adivinar algo con las estadísticas en la mano, pero estas traen datos del pasado y lo cierto es que nada se repite dos veces exactamente igual. Eso cuando se repite, porque con los fenómenos no lineales sucede que un pequeño cambio en las condiciones iniciales puede ser causa de efectos desproporcionados e imprevisibles. El Panel Intergubernamental

¹ Los autores de un análisis exhaustivo de esta situación, titulado *En la espiral de la energía* (Fernández y González, 2018), están vaticinando escenarios entre el colapso del sistema y un “doloroso Largo Declive que alumbrará sociedades radicalmente distintas”.

² Ecosistema se define como red de intercambios tróficos dentro de un área geográfica limitada (Rappaport, 1979, p. 29). Un termitero, por ejemplo, no es un ecosistema, sino que forma parte de alguno, del cual obtiene insumos y al que altera con sus actividades. Una ciudad no es un ecosistema en sí mismo, sino parte de muchos, los que siguen siendo su “área geográfica limitada”.

sobre el Calentamiento Global nos da una década más para prepararnos. ¿Para qué? A lo sumo para el manejo de daños (véase Rich, 2018), pues nos llegó la hora cero.

2. PERMANECER EN LA ESPIRAL DEL VÓRTICE

Se trata de permanecer en el juego de la termodinámica, no en el de la “mecánica de la ganancia”. El problema crítico que tiene todo sistema que disipa energía es el *predicamento entrópico*.³ En el caso de la sociedad industrializada, cuya expansión depende casi por completo de la quema de combustibles fósiles, este problema se ha agravado a tal punto que llegó a ser una suerte de callejón sin salida: sabemos en qué consiste el calentamiento global, pero seguimos contribuyendo al mismo sin poder hacer nada al respecto como sociedad. Me remito a los acuerdos en las cumbres mundiales del clima y sus magros resultados en revertir las tendencias del calentamiento global. Individualmente sí podemos hacer mucho a favor de una vida sana asumiendo un estilo de *no impact person*. Como sociedad, sin embargo, somos inoperantes. Los países que implementan con éxito la tecnología “verde” lo hacen a expensas de la *huella ecológica*⁴ que trasladan al medio natural y, lo que pueden, al mundo “en vías del desarrollo”. Es que para una economía extractivista no hay alternativa. La agricultura debe suministrar alimentos a la velocidad en que crece la población, mientras que las capacidades del entorno a este respecto disminuyen. Es posible librar el apuro con recurso a los agroquímicos, pero hay que contar con que el suelo cultivable se está empobreciendo. Es una suerte de trampa, de la cual no hay más salida que agotar las posibilidades al interior del mismo sistema para comenzar algo distinto. Es posible crecer exponencialmente en un mundo finito, pero no sin colapsar antes o después de que se agoten los recursos. Tarde o temprano toda estructura se vuelve pesada para su medio, de modo que comenzar de nuevo tiene ventajas; lo cual sucedió muchas veces en la evolución de la vida.

Las formas autótrofas producen un desgaste entrópico neto relativamente invisible. Pero lo producen inevitablemente. El punto no es que la entropía como “calor muerto” se desvanece y no pasa nada, sino que para poder producir estas enormes salidas del calor —esto es, para mantener su estatus disipativo— una forma energética depende de entradas de energía constantes y crecientes; eso es, su

³ Todo proceso energético consume una cantidad mayor de entropía baja de la que está contenida en sus productos (Georgescu-Roegen, 1975, p. 791). El apuro o “apremio entrópico” [*entropic predicament*] al que está sometido todo sistema abierto es un problema de eficiencia termodinámica: para mantener su estatus disipativo debe obtener la misma cantidad de baja entropía con menos gasto de su propia energía libre (Georgescu-Roegen, 1996, p. 381) en un tiempo-espacio limitado que se acaba para todos. La *eficiencia* se define como la coherencia entre una determinada imagen mental y el desempeño de una forma energética (Adams, [1975] 1983, p. 229). No hay eficiencia absoluta, sin adjetivos, eso es, sin objetivo específico que persiga.

⁴ Los economistas Wackernagel y Rees (1996; Wackernagel *et al.*, 1999) elaboraron el concepto. Un holandés de clase media necesita 15 veces más territorio cultivable para alimentarse del que le corresponde en su país. Ese territorio está en otros países al sur de Europa, de donde se importan los insumos para elaborar la dieta y donde queda la huella ecológica impresa.

permanencia no es voluntaria, en el sentido en que se mantenga un equilibrio con el medio, sino “en tanto esté disponible un remanente no utilizado de materia y energía” (Lotka, 1925, p. 35).

Por el camino queda no sólo el calor disipado, sino también formas energéticas parcialmente desgastadas.⁵ Las formas energéticas funcionan transfiriendo al medio toda la energía ligada que pueden, pero también sufren su propio proceso de desgaste interno. Cuando se agotan las posibilidades individuales de crecimiento los organismos recurren a la reproducción. Como Malthus y Darwin observaron, se trata de una sobrerreproducción, sin considerar las posibilidades del medio. De ahí la “lucha por la vida” y la competencia por los recursos, pero no solo. También se da una mayor integración de redes-tróficas-en-expansión, aumentando así la complejidad de las estructuras de la vida. Mientras haya crecimiento y expansión el desgaste puede ser compensado (e inadvertido). “Creced y multiplicados” es la orden que fue dada no sólo a los elegidos de Dios, sino a todas las formas de vida habidas y por haber. Y de ahí la evolución. No es cuestión de “renovar” lo que en realidad es irrecuperable. Es la necesidad de compensar las pérdidas entrópicas la que nos obliga a salir todos los días a buscar el sustento de nuevo. Y eso en un tiempo que se acaba para todos. He aquí el problema que se dice *apuro entrópico*. Sus consecuencias son intermitentes: nos obligan a desplegar el máximo de creatividad al mismo tiempo que obedecer los límites dentro de la dinámica energética de los procesos evolutivos. El tiempo devora todo a la vez que permite recuperar algo de las cenizas cuando todavía queda alguna chispa para encender un flujo de nuevo (la metáfora es de Margalef). La producción de entropía es simultáneamente el sumidero de calor muerto y el “motor” de la evolución.

En virtud de ese apremio, al que “por ley” está sometido todo sistema vivo, su consumo de energía tiene que crecer. Eso por la simple razón de que las pérdidas entrópicas en aumento no pueden recuperarse. Ya que la energía una vez consumida no se puede renovar, hay que buscarla de nuevo. ¿Acaso las plantas renuevan la energía que reciben del Sol? La están transformando en dos formas: en energía orgánica que almacenan y en entropía que expiden. La proporción entre ambas está dada por la *eficiencia de Carnot*, que es el 10 % para el trabajo y el 90 % para el sumidero. Eso en teoría, porque en la práctica y en el caso de máquinas térmicas, la eficiencia no llega a este nivel.

El secreto del funcionamiento de la biósfera es que integra un mínimo de energía en sus ciclos, esto es, opera a una *tasa* de disipación mínima, a la vez que sostiene las estructuras con las que se regulan esos flujos en un nivel de máxima complejidad. El éxito de este patrón no consiste en que la fuente de energía sea renovable, sino en que su naturaleza cíclica-sincronizada se sostiene con estructuras informáticas que funcionan como una suerte de relojería interna, permitiendo mantener el consumo dentro de los límites de lo posible. Lo que hay no es energía renovable, sino *energía disponible* y lo es gracias a los dispositivos de captura, procesamien-

⁵ Los suelos de los bosques se laterizan, los mares se acidifican, los lagos se azolvan. Son procesos de largo aliento. Contribuyen a la evolución de los ecosistemas como perturbaciones e interferencias que condicionan la siguiente etapa de expansión/contracción.

to y regulación, mecanismos que tienen sus propios gastos de mantenimiento. La energía nunca se ofrece gratis por sí sola.

Por una razón importante las plantas verdes integran en sus ciclos vitales un pequeño porcentaje de la energía solar, la cual luego se reparte entre otros usuarios, entrelazándose en redes de consumo cada vez más intrincadas. La razón por la cual la biósfera no dispone de más energía en sus circuitos vitales reside en la naturaleza de los mecanismos de regulación.⁶ Son mecanismos que extraen trabajo de un flujo energético, pero que hacen algo más, algo difícil de advertir si no se cuenta con herramienta teórica a propósito, que es la teoría de *sistemas disipativos*. Los mecanismos de regulación (*trigger mechanisms*) que activan o inhiben los flujos, procesando la información a modo de *feedback*, son los que contrarrestan la entropía que se produce en todos los eventos, incluidos los de regulación. La operación de estos mecanismos exige una energía adicional siempre fresca de “un remanente no utilizado”, como la calificó Lotka. Cuando el sistema individual llega a sus límites de consumo, la red a la que pertenece ha de expandirse. Si bien la simplificación es la otra estrategia posible, para el caso de un sistema complejo estos dos movimientos pueden darse simultáneamente: no todo tiene que crecer en todas las direcciones y mucho menos exponencialmente. “Un problema en la comprensión de sistemas dinámicos complejos es la capacidad de identificar cuándo el comportamiento es periódico y cuándo podría caer en el caos” (Çambel, 1993, p. 117, traducción mía).

La paradoja de expansión a costa de contracción aparece por todas partes. El dinamismo de la evolución se debe a la producción de entropía. Para contrarrestar las pérdidas –que son espontáneas, inevitables e irrevocables– un sistema que procesa energía tiene que ponerse cada vez más activo. La disipación se compensa con más disipación, no con menos. El principio entrópico es la única ley de evolución conocida hasta ahora, constata Georgescu-Roegen (1996, p. 395). Para entender esta idea es necesario dejar de creer en lo natural como sinónimo de equilibrado, armonioso y genuinamente sustentable.

Si la naturaleza no es esto, ¿qué es, entonces? El tiempo newtoniano universal, reversible, de intervalos iguales a sí mismos, que vienen de un pasado infinito y van hacia un futuro igual de interminable, simplemente se nos acabó. Fue un invento muy bonito, pero nada más que eso. Nuestro tiempo no puede revertirse, al igual que un flujo energético no puede renovarse, porque en cada evento se produce una pérdida irrevocable, no de energía, sino de su potencia. El tiempo escaso se debe a la “producción” de entropía. “Al proceso que de ninguna manera puede ser *completamente* revertido –dijo Max Planck– yo lo llamé *natural*. Hoy en

⁶ *Mecanismo* aquí se entiende en términos de Lotka (1925) como *regularidad*; la idea es aplicable en niveles de integración múltiples. Por ejemplo, la hipótesis Gaia de Lovelock postula un mecanismo, el así llamado por el autor “*daisy world*”, que regula las variables de temperatura, oxígeno, agua y los demás componentes en ciclos geológicos largos. Un ejemplo de ciclos cortos es la homeostasis que mantiene vivos a los organismos individuales o comunidades bióticas. La idea también es aplicable al metabolismo social. Desde que Carnot se diera cuenta de que para extraer “trabajo” de un flujo energético debe darse la condición de ensambles cíclicos y sus ritmos, la mecánica pasó a ser *termo*-dinámica. Más tarde se iban elaborando otros elementos teóricos, los que se aglutinan ahora en un mosaico de ideas todavía por completarse, el de la teoría del caos y del paradigma de sistemas complejos.

día, el término de uso universal es *irreversible*" (1978, p. 221). Esta es la "metáfora raíz" o *paradigma*, si se quiere en términos de Kuhn, de cómo vemos la naturaleza ahora.

La sincronización de los ciclos naturales es un resultado *estocástico*, esto es, uno que crea patrones a partir del comportamiento azaroso no planeado, patrones que quedan en la memoria sistémica que condiciona eventos posteriores. Orden a partir de fluctuaciones, es la tesis de Prigogine. Azar, caos, incertidumbre e irreversibilidad son características que definen la naturaleza de los procesos físicos, los fisicoquímicos, los fisicoquímico-orgánicos y los fisicoquímico-orgánico-sociales. Mientras las fluctuaciones son omnipresentes, el orden es local y temporal. No hay ningún cronómetro que mida el tiempo absoluto, toda relojería trabaja con fricción y desgaste. Los ciclos evolutivos se dan al ritmo de la entropía que producen dándole su hora un proceso al otro. Es así como se sincronizan. En la mecánica cuántica el tiempo-espacio es resultado de un campo de perturbaciones debidas a alguna forma de flujo energético (electromagnético, radioactivo, nuclear-fuerte, gravitacional).⁷ Para el sentido común el espacio es un contenedor de lo que hay y el tiempo es un fluir de las cosas a través de un eterno presente. La física cuántica, sin embargo, postula dimensiones de espacio-tiempo a efecto de lo que sucede al observarlo. Sugiere que hay dimensiones a las que no tenemos acceso directo, pero podemos intuir las a través de sus efectos fenomenológicos. El tiempo tiene historia (Hawking, 1996), el Universo tiene historia, pues no es el mismo el que hace un momento; no permanece en estado estacionario porque produce entropía a cada instante. Lo que queda de la expansión cósmica como cenizas y ruido de fondo parece gravilla inútil en la máquina térmica del Universo, sin embargo, es parte fundamental de esta maquinaria (Gray, 2013, p. 111). La expansión a costa de contracción marca la flecha del tiempo hacia adelante y hacia abajo. Pero también hay una expansión colateral o "hacia arriba", por decirlo así. La "gravilla" de perturbaciones crea vórtices. Son estructuras disipativas surgidas de fluctuaciones caóticas. Su orden local, imperfecto e incompleto, las aleja temporalmente del equilibrio en la medida de lo posible, de lo que permiten las fronteras energéticas entre el sistema y su medio. Por ser fenómenos locales temporales no alcanzan una formulación de ley universal.

Sirva este apretado resumen de ideas sobre la naturaleza de los procesos naturales, valga la redundancia, para echar las bases de una narrativa sobre la *energética social*. Es un enfoque que permite distinguir entre el ruido y el flujo informático sustantivo. El asunto que ocasiona mucho ruido y confusión en las discusiones sobre el desempeño de las sociedades humanas industrializadas es quererlas sustentables como si fueran ecosistemas en sí. Un ecosistema no puede ser modelo a imitar por la organización social, porque una sociedad es uno entre varios elementos participantes de uno o de muchos ecosistemas adyacentes. Por lo demás,

⁷ Son fuerzas que mantienen la materia unida. El Universo, sin embargo, se expande y se enfría produciendo ocasionalmente islas del orden a costa de la contracción. La *termodinámica de procesos no lineales abiertos* propone una "cuarta ley de organización" (véase Georgescu-Roegen, 1996). El trabajo pendiente es remitirla a las fuerzas básicas de la naturaleza de cuando nació el tiempo-espacio y todo lo demás.

el concepto de ecosistema se idealiza como si éste fuera un prodigio de equilibrio, armonía y autosuficiencia. Un ecosistema no intervenido trabaja a su propio ritmo, dura mucho (en la escala de la vida humana), transforma poca energía de toda la que recibe del Sol, recicla lo que se puede, todo lo cual no impide que se desgaste, dejando residuos no reciclables como sedimentos. Un ecosistema intervenido por la sociedad humana declina rápidamente, dependiendo de la naturaleza de la intervención. Los ecosistemas intervenidos con tecnología de altos insumos, al recibir los desechos tóxicos se trastornan irremediablemente, se vacían y se pueblan de especies oportunistas.

Se argumenta que la sociedad es “como un ecosistema” para poder decir que ella misma también puede ser “sustentable” como aquél.⁸ Así razonan, por ejemplo, los legisladores que aprobaron la última versión de la Ley de Desarrollo Urbano para la Ciudad de México (aprobada por el Congreso local en 2016). ¿Alguien en su sano juicio podría oponerse a la idea de ciudad sustentable? Pues bien, si dejamos de lado la magia de las palabras nos veremos obligados a reconocer lo obvio: que las ciudades dependen totalmente de insumos exteriores en cuanto al alimento, agua y materiales. Por lo demás, las ciudades con sus desechos de todo tipo son los principales contaminantes del mundo. ¿En qué sentido una ciudad se sustenta a sí misma? Una estructura viva no sobrevive por sí sola. Las sociedades humanas son sistemas vivos que disipan energía sin poder reciclarla. Las sociedades humanas contemporáneas pueden parecer independientes de su entorno inmediato, pero sólo porque manejan insumos provenientes de muchas partes del mundo y la tecnología con que los extraen, transportan y procesan puede dar la impresión de que la sociedad ya no depende de la “naturaleza”. Individual y colectivamente nos imaginamos a nosotros mismos como entes supra-naturales *sui generis* o, de plano, pertenecientes a un orden superior. La naturaleza se concibe como algo externo, con fronteras a través de las que se extraen los recursos y se depositan los desechos.

Lo que tenemos en común con los actantes no humanos es que somos y conformamos sistemas que disipan energía. La cualidad que hace la diferencia entre nosotros y los demás seres vivos consiste en el uso de energía que no procede de los circuitos orgánicos y escapa a los controles ecosistémicos locales. Ninguna parasitosis o plaga tiene esta ventaja.

Con el uso de energías no biológicas las sociedades humanas pueden trastocar las proporciones en el intercambio trófico de un ecosistema, sin pagar las consecuencias inmediatamente. La civilización industrializada cuenta con todo tipo de dispositivos para librarse de las ataduras que le impone la “naturaleza”, pero sólo para trasladar las consecuencias a otros tiempos y otros espacios. Pongo la palabra

⁸ Sustentabilidad es un concepto eminentemente antropocéntrico, sin equivalente en la evolución de la biósfera. En la naturaleza todo es sustentable mientras esté disponible la energía para sostenerlo. Si bien ésta es una obviedad que raya con tautología, en el caso de sistemas humanos entran en juego los factores de producción, tales como el trabajo, en especial el “socialmente necesario”, el capital, la tecnología, la información, la ética, la estética y demás elementos que ninguna definición de sustentabilidad suele incluir. Una agricultura sustentable debe cobijarse en el ecosistema local, no como un fenómeno naturalmente espontáneo, sino subsidiada por la sociedad que se está sirviendo de ella (Tyrtania, 2016).

“naturaleza” entre comillas, porque si nos reconociéramos parte del mundo natural, nos daríamos cuenta de que a corto, mediano y largo plazo dependemos como nunca de los ecosistemas terrestres y marítimos que nos rodean.

El razonamiento es el siguiente. Sólo es posible sobrevivir en un mundo cuya entropía aumenta. Si la entropía tiene que crecer, el esfuerzo para contrarrestarla también tiene que crecer y a un ritmo cada vez mayor. Al desgaste entrópico no es posible anularlo o neutralizarlo; equilibrar, tampoco. El contrapeso a la “producción” de entropía exige de un sistema vivo conseguir una energía adicional siempre nueva, que no “renovada”. A su vez, el empleo de esa energía extra también produce entropía, de modo que parece un asunto de nunca acabar. Pero sí tiene sus límites. Las formas energéticas que se perpetúan como estructuras disipativas transfieren su entropía de unas a otras en un ambiente que es finito, y en un tiempo limitado, por el *apremio entrópico* (véase más adelante). Para mantener su estatus disipativo el gasto no debe parar “nunca”.⁹ Para solventarlo hay que crecer, la vida es expansión a costa de destrucción. Esta es la razón por la cual los humanos en sociedad tuvieron éxito al aprender a manejar energía por medios exosomáticos y eso es lo que los distingue de los demás animales, una distinción que en algunos casos es cuestión de grado. Ahora bien, el grado en que las sociedades humanas han desarrollado el manejo de energía por medio de herramientas les soluciona algunos problemas de supervivencia sobre la marcha, pero también les crea problemas específicos que los demás animales no tienen. El manejo de fuentes de energía no orgánicas, y de los dispositivos que la procesan, es un asunto sumamente oneroso para el medio. Al crecimiento tecnológico lo sigue una estela de desperdicios que también crecen y se acumulan. Pero mientras los insumos y egresos se calculen en dinero el verdadero problema queda inadvertido. El lado oscuro del binomio energía/entropía está oculto a simple vista. Usted nunca puede ver simultáneamente las dos caras de la misma moneda, argumenta el autor de *Hiperobjects* (Morton, 2013).

Cuando se habla de “energía renovable”, “equilibrio dinámico”, “desarrollo sustentable” y “resiliencia” como capacidad de recuperar el estado anterior, se está usando un vocabulario comúnmente aceptado, pero que pertenece a un modelo de estado estacionario del mundo. Es un mundo que se mueve como un *perpetuum mobile*: sin roces, sin pérdidas, sin cesar y sin novedad. En consonancia con las leyes naturales así concebidas —como las de un mecanismo reversible— la economía funciona al vaivén de la ley de oferta y demanda, como un dispositivo que se autocorriga y nunca se desgasta. Según esto, la naturaleza busca el equilibrio, se sostiene por sí misma, porque la energía abunda y es gratuita. Los sistemas sociales también podrían ser así de “sustentables” como lo es la vida si se corrigieran ciertas anomalías. Hay que “transformar nuestras sociedades sin destruir todo lo demás” y, si es posible, conservar lo que hay, dicen los optimistas.

⁹ El organismo humano produce constantemente 36.4° de temperatura corporal. Es mucha energía que se va al medio en forma tan difusa que no parece incidir en nada. Sin embargo, mantener este nivel de disipación toda la vida exige asegurar el insumo constante y creciente, lo cual no lleva a ningún estado de equilibrio global entre el sistema y su medio.

El asunto de conservación, sin embargo, no concuerda con la necesidad de crecimiento. Mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda y simultáneamente sostener el gasto creciente del consumo es imposible. El crecimiento económico es una necesidad, pero no por alguna razón estrictamente económica, sino, como estoy argumentando en el presente ensayo, en virtud de la *dinámica energética*. Si bien una economía estancada no tiene futuro, una en crecimiento exponencial, tampoco. La idea mecanicista del equilibrio económico no es consistente con la *“growth mania”* que promueve el mercado. Para salvar la brecha lógica entre estas dos expresiones de la ortodoxia económica se está propagando la creencia de que el uso de energías “verdes” es la solución. Ecologistas convencidos creen que los procesos naturales no producen desperdicios, no dañan al medio y tienen una resiliencia o capacidad natural de recuperación infinita. De ahí se cree que los agroecosistemas tradicionales bien manejados pueden ser el modelo de relaciones armoniosas con el medio. La cuestión, sin embargo, no es tan sencilla. En primer lugar, un flujo energético sin pérdidas entrópicas simplemente es imposible, de ahí que hablar de energías “limpias” no tiene sentido. En segundo lugar, la agricultura tradicional también impacta al medio, aunque no tan drásticamente como la que depende del petróleo, pero de todos modos lo modifica. Mucho depende de la relación entre la tasa de reproducción de la población y la capacidad de cada lugar para recuperar su fertilidad, que nunca es una recuperación completa. Cuando la presión demográfica es fuerte, puede dejar al medio exhausto. Un pozo se puede agotar a cubetazos. El problema que se presenta en la actualidad es que la agricultura campesina, la que todavía alimenta al mundo según los informes de la FAO, no alcanza la productividad que la población mundial en expansión exige. Cómo se las arreglará la economía globalizada con este problema, es algo que está por verse. En este sentido, las reglas y los patrones de la dinámica energética son útiles para distinguir entre lo que es posible y lo que es un autoengaño sin más.

3. LA ENERGÍA NO ES RENOVABLE

La evolución se debe al déficit entrópico presente en toda transformación energética. La idea es fácil de entender si se piensa un poco. Para obtener *energía disponible* hay que invertir energía de nuevo, una energía con el potencial de trabajo intacto. No es posible comer dos veces la misma torta, hay que volver a elaborarla con ingredientes frescos y si la hacemos con elementos reciclados se necesitará energía adicional para el reciclaje. La de “energías renovables” es una idea amañada, pues la energía una vez gastada va al sumidero cósmico de la nada. ¿Que la fuente es renovable? Es una manera de hablar, el Sol no “sale por la mañana”, mucho menos “renovado”. La energía solar abunda, pero su puesta a trabajar nunca es gratuita. ¿Acaso el Sol produce la electricidad para iluminar nuestras casas y calles de las ciudades día y noche?

Estamos acostumbrados a decir que la naturaleza consta de “recursos”, que produce “excedentes” y “materias primas”. El colmo del malentendido es suponer que los ecosistemas deben prestarnos “servicios ambientales”. Ningún sistema

produce para sustentar algo ajeno a su propia estructura y función. Un bosque no produce madera para muebles ni presta servicios a nadie en particular. Que la naturaleza esté ahí para servirnos de ella es un malentendido del tamaño del mundo.

La agricultura, por ejemplo, tanto la tradicional como la industrializada, consiste en la extracción de energía-materiales-e-información de un determinado medio, a partir del uso de herramientas y demás factores de producción. A cambio, se está devolviendo al medio la energía degradada. Eso se hace en beneficio neto de la sociedad y del perjuicio bruto de los sistemas que decimos ambiente. El daño a éste es inevitable. En cuanto al beneficio, éste se contabiliza en la esfera de las finanzas que operan con lógica propia, ajena a las relaciones entre los actantes humanos y no humanos.

Desde luego hay una diferencia importante entre los dos tipos de agricultura mencionados más arriba y es la magnitud y la rapidez del deterioro que provocan. El resultado en todo caso es el desgaste del medio, lento o acelerado, pero constante. La entropía es el "impuesto" a pagar y no precisamente en dinero. Lo que cuenta es la *proporción* entre la energía procesada y la que quedó inútil (para el sistema), la cual en su mayor parte fue despedida al medio. Pues bien, en los cálculos de ganancia económico-monetary los efectos entrópicos que perturban al entorno no tienen importancia alguna. En el caso de la tecnología "verde" incluso tales efectos se niegan, contra toda la evidencia, pues se dice que son energías "limpias". ¿Acaso el uso de energías así llamadas "renovables" no produce entropía? ¿Acaso los dispositivos que la procesan no dejan residuos? Si la economía se alimentara con la energía solar al mismo ritmo que hoy se sostiene con energías basadas en la quema de carbono, el calentamiento crecería igual o más (Giampietro *et al.*, 2006). Si admitimos que la producción de dispositivos de captura depende del petróleo, especialmente de los plásticos, tampoco cambiaría mucho el tipo de residuos. Sustituir una fuente de energía por otra no asegurará un planeta habitable para la gente que somos y el tipo de consumo que sostenemos.

¿Es el *estado estacionario* del que se habla en física, a propósito de la evolución de sistemas disipativos (Prigogine, 2004), equivalente del estado estable del que se habla en economía? Pues no, no es lo mismo. La fase estacional de un sistema físico se refiere a la *tasa* de producción de entropía. Es la tasa la que queda en este estado más o menos constante-fluctuante, lo cual no significa que la entropía dejó de producirse en ningún momento. Sobre este asunto, la humanidad no tiene ningún poder para modificarlo. Pero sí puede manejarlo a su favor, igual que lo hacen las demás formas de vida en tanto *sistemas que degradan energía para sobrevivir*. Para manejar el déficit energético y preservar su estatus disipativo el sistema tiene que disipar más y más energía, no menos. Sólo se puede hacer más con más. Es posible hacerlo con cierto cuidado, ir despacio y crecer selectivamente. Comúnmente se piensa que el cuidado o conservación del medio exige el estado estacionario de la economía. El concepto, sin embargo, se refiere a la tasa constante de producción de entropía, no a la supresión de ésta. Crecer a una tasa mínima de disipación, conservando el máximo de estructura de los sistemas que soportan la vida, según la *estrategia minimax* que caracteriza a la naturaleza; sería sensato, pe-

ro a los humanos tampoco nos interesa el estilo de vida vegetativo. Dependemos de estos sistemas para lo básico, pero llevamos una vida por encima de la mera supervivencia biológica, una vida que consume energía al por mayor llegando a amenazar lo que nos sostiene. He aquí la paradoja.

Es posible compensar el desgaste manteniendo cierto balance *local y temporal* a favor de la vida mediante la transferencia de entropía al medio. Con esto, los organismos, las comunidades de vida y los ecosistemas enteros logran mantenerse en el juego de la termodinámica (Margalef, 1980) mientras el medio da de sí. El nombre del juego es *complejidad*, esto es, expansión/contracción simultáneas al borde del caos. La termodinámica describe las reglas de este juego que no es posible ganar, tampoco empatar; la ganancia consiste en permanecer jugando. La permanencia depende de un cierto balance, se ha dicho, entre las fuerzas rectoras del proceso, un balance que no es lo mismo que equilibrio. El *equilibrio* es un estado de cero producción de entropía, un estado homogéneo en el que no pasa nada, en que todos los gradientes de temperatura se han igualado. Sólo podemos operar como sistemas disipativos lejos del equilibrio termodinámico y, es más, alejándonos de él. Conclusión: en este mundo no se puede vivir sin afectar el medio. La idea funcionalista del “equilibrio dinámico” es una falacia que impide entender la naturaleza del problema que decimos “ecológico”.

Pensar que la vida tiene la capacidad de neutralizar o ignorar la producción de entropía es un obstáculo mental que impide entendernos. La pérdida de potencia en todos los procesos de transformación obliga a emplear la *energía disponible*, como propone definirla Georgescu-Roegen (1996), que no “renovada”, sino nueva, con el potencial de trabajo apropiado. Si la energía fuera renovable viviríamos en el paraíso, sin necesidad de trabajar y esforzarnos por buscar cada día el sustento de nuevo. El principio entrópico lejos de ser una fatalidad o contradicción irremediable es una suerte de activo, porque obliga a la creatividad, estimula la exploración de los límites de la existencia, favorece la organización, la colaboración, la sociabilidad y la formación de redes de intercambio entre los seres vivos. Tales virtudes, sin embargo, no aseguran una vida en paz con el medio. Si el equilibrio fuera el objetivo de la evolución, ésta no tendría ninguna oportunidad para seguir y nosotros no estaríamos aquí para atestiguarla. Como tal, la evolución no es sinónimo de progreso. En la base de la pirámide trófica se conservan organismos simples y los complejos en ocasiones tienen que dar marcha atrás o ceder el lugar. La evolución de sistemas dinámicos tiene tanto de redundante como de novedoso, tanto de predecible como de indeterminado, tanto de continuo como de perecedero. La evolución “es un proceso masivamente paralelo y prodigiosamente derrochador [¡!]; es un proceso no planeado, no previsor, en el que, sin embargo, los incrementos mínimos han sido utilizados económicamente, copiados y vueltos a copiar a lo largo de miles y millones de años” (Dennett, 1999, p. 295). Es así como se elaboran los patrones evolutivos que apuntan hacia la complejidad, en la que siguen contribuyendo los sistemas sencillos y a veces hasta los “involucionados”. La evolución no es avance en ninguna dirección. La evolución es un proceso que no responde a ningún propósito específico, pero como proceso pautado puede ad-

quirirlo (el propósito, la direccionalidad) por sí misma o por nuestra asignación. Si la evolución no tiene sentido, su ventaja sobre otras concepciones del universo consiste en que podemos atribuírselo de acuerdo con nuestras necesidades. Esto es, los humanos podemos incorporar a la cruda realidad nuestros objetivos particulares, siendo los valores éticos los que nos pueden guiar en la adaptación. Para ello, lo único que necesitamos es disponer de suficiente tiempo, energía, materiales e información.

Nada, sin embargo, nos podrá librar de las limitaciones que imponen ciertas reglas de juego dentro de las que nos es dado vivir. Entre ellas, la producción de entropía en todo evento energético. No se trata, sin embargo, de una fatalidad que lleva a la “muerte térmica” del Cosmos en un futuro remoto. Sus efectos se producen aquí y ahora. Su dinámica conduce a la diversidad de formas y a la autoorganización en redes a través de la selección recíproca. Los organismos, las comunidades de seres vivos y los ecosistemas trabajan sincronizando sus ciclos en un entramado de procesos en que unos monitorean a otros. A eso se le dice sinergia (del griego *synergos*, trabajar juntos). Ningún mecanismo de relojería es perfecto, todos trabajan con fricción y ninguno da “la hora exacta” en abstracto, sino la suya propia en relación con el ritmo de intercambios en el sistema al que pertenece. Los intercambios energéticos son cuestión de ciclos y ritmos, los cuales, sin embargo, no son del todo regulares ni perfectamente equilibrados. Sabemos por experiencia propia que los ritmos cardíacos tienen sus momentos en que se aceleran o desaceleran. Así mismo la respiración, el metabolismo, la reproducción y las demás funciones de un sistema vivo se sincronizan, pero no sin roces, desajustes y anomalías. Los físicos hablan de perturbaciones, interferencias y bifurcaciones. El orden no es una estructura preexistente, sino un subproducto exiguo y frágil, que surge a partir de las fluctuaciones sobre la trama predominante del caos. La permanencia de lo que denominamos “orden” se debe a la destrucción de unas formas por otras. Esta es la hipótesis fundacional de la *termodinámica de sistemas no aislados* de Ilya Prigogine (1983). Cuando los flujos energéticos se interfieren, en ocasiones se enlazan y corriente abajo a menudo crean sistemas nuevos (Adams, 2001).

Según este último autor, la energía no es simplemente el combustible o un insumo entre otros, sino la variable independiente que junto a la producción de *entropía* define el estatus termodinámico de un sistema, esto es, su distancia del equilibrio. La naturaleza intrínseca de la energía es fluir y disiparse y la evolución es una de las maneras de lograrlo, entre otras, como la difusión, la radiación o simplemente la erosión y el enfriamiento. Dando un rodeo por las estructuras que adquiere la vida, la energía desgasta los haberes del planeta más de prisa que si no hubiera vida en él. La evolución social (debería decirse “físico-orgánica-y-social”) no hace sino acelerar este proceso.

4. ¿QUÉ HORA ES, ENTONCES?

Depende del reloj con que se mida. Un ejemplo: El suelo agrícola está compuesto por elementos fisicoquímicos y orgánicos en interacción. Los procesos de forma-

ción de minerales se miden en milenios. La formación de materia orgánica fue cuestión de siglos, pero una vez aparecida se reproduce con rapidez. La disolución de nutrientes en el agua y su transportación dura minutos. Los procesos metabólicos de los microorganismos que habitan el humus dependen de los procesos fotosintéticos de las plantas verdes y éstas, a su vez, dependen del ritmo diario de insolación, del régimen de lluvias estacional y de los ritmos ecológicos de circulación de carbono, nitrógeno y otros elementos más (véase Cox y Atkins, 1983, p. 265). La sincronización de los ciclos evolutivos grandes y pequeños suele necesitar cientos o miles de años en producirse. Los tiempos del planeta se miden en eones, mientras que las sociedades humanas en el reloj evolutivo de la biósfera son resultado de los últimos segundos. No es de extrañar que se comporten como unos principiantes que son.

¿Cómo es que las sociedades humanas se convirtieron en tan corto plazo en un problema para sí mismas y para la diversidad de la vida en la biósfera? ¿Podrán estas sociedades entenderlo por su cuenta? Tal parece que no, porque todo lo que hace la civilización es querer independizarse de la "naturaleza". Su éxito por mientras consiste en implementar una tecnósfera, la que ya está cubriendo el globo entero. Es el sistema bancario mundial y el Pentágono con sus satélites. No es precisamente la *noósfera* que soñaba el paleontólogo jesuita Teilhard de Chardin. Es una esfera que implementa y protege el desarrollo depredador ecocida, por lo demás, salvajemente injusto que llamamos "progreso".

¿Habrá algún día una alternativa? ¿Podrán las sociedades recapacitar por vía del conocimiento, la conciencia y el comportamiento ético? La otra posibilidad es que nos llegue "la solución" por la vía de los acontecimientos que no dependen de nosotros. Dado el tamaño del problema, ¿estamos en manos de los actantes no humanos? Así opina Timothy Morton a propósito del *hiperobjeto* del calentamiento global (2013).

Pues si lo pensamos bien, nos llegó la hora de preguntar a la biósfera por la suya: "¿Me da su hora, por favor?" Es la hora de *ecopoiesis*, que es el otro nombre de justicia ambiental. 'No más sin nosotros', parecen decir los ecosistemas del mundo, un mundo del que somos parte. Es tiempo de entender que la evolución de la biósfera no está bajo el control humano. Para entender qué margen de maniobra nos queda es necesario revisar el concepto de naturaleza que hemos heredado. La ciencia actual contempla un mundo vibrante, cuyas islas del orden se autoorganizan en un mar del caos, alejándose del estado de equilibrio termodinámico tanto como les sea posible. Ya no es una entidad estática en estado de equilibrio, hecha de energías renovables, de las que podemos extraer provecho sin preocuparnos por las consecuencias que esto produce.

En griego «poeta» significa hacedor. La autopoiesis es hacerse el "sí mismo" mediante la sustitución de elementos caducos del sistema (Maturana y Varela, 1997, p. 198) debido, por cierto, al desgaste entrópico (que los autores no mencionan, tal vez por ser obvio). "Autopoiesis, reproducción, evolución son etapas de ese continuo que es la vida" (Margulis y Sagan, 1996, p. 176). La diferencia entre la autopoiesis y la ecopoiesis es la que se da entre la reproducción simple

y la reproducción ampliada. Esta última sucede cuando de la convivencia horizontal entre las especies surgen estructuras complejas verticales, jerarquizadas, que permiten intercambios entre niveles de integración prebióticos, orgánicos y sociales, formándose cadenas alimenticias integradas en un sistema regional de productores-consumidores-recicladores. La complejidad de estas estructuras se debe a los procesos de *simbiogénesis* –como los llamó Lynn Margulis–, una capacidad de abrir y cerrar los ciclos del metabolismo orgánico. El barroquismo de estos arreglos, su complejidad estructural, puede parecer con posibilidades infinitas, pero no lo es tanto; a veces es frágil, a veces robusta, en ocasiones se expande y también se puede simplificar, transformar o colapsar. Ahora bien, cuando un ecosistema es intervenido por una economía extractivista y sus flujos tienen que pasar por estructuras socioculturales, al menos por algunas de ellas, la situación cambia radicalmente. La *ecopoiesis* como elaboración de estructuras inclusivas nuevas se verá impedida por extracción, agotamiento y contaminación, procesos que no contradicen ninguna regla de la dinámica *termo-*, pero que acortan el tiempo. Y el tiempo es necesario para prepararnos para lo que viene.¹⁰ Las tecnologías como permacultura, hidroponía o agricultura ecológica, podrían contribuir a adaptar los sistemas agrícolas ecopoiéticos a las necesidades de hoy.

La propuesta de Nicholas Georgescu-Roegen (1975) es ver la evolución social como una fase en la que a la dinámica energética se suman las “especies” bioeconómicas. Son formas compuestas, resultado de procesos físico-biótico-sociales. En nuestros tiempos se están desarrollando rápidamente dispositivos tecno-informáticos, que podrían dar la impresión de que la *poiesis* social se está desprendiendo de su base físico-biótica. Tal impresión, sin embargo, resulta engañosa en cuanto que no toma en cuenta la cuestión energética. El déficit energético es una propiedad del universo en expansión y el tiempo marca su dirección irreversible. Si bien no hay un reloj cósmico, toda relojería local tiene incorporada la flecha del tiempo *hacia adelante y hacia abajo*, en la que se dan cuellos de botella a causa de “la gravilla” de interferencias de elementos de diferente contenido entrópico. Sucede que algunas formas energéticas dan vuelta *hacia arriba*, como en una suerte de vórtice, para luego volver a la corriente principal. Así es como visualiza el citado autor la evolución, como una corriente estimulada, en última instancia, por el desgaste entrópico que local y temporalmente produce formas ordenadas.

Los sistemas disipativos —que son los únicos que pueden evolucionar— operan lejos y alejándose cada vez más del equilibrio termodinámico, pero no para siempre. Su complejidad también tendrá límites, aunque éstos no sean del todo conocidos. Para que se dé la evolución (como un despliegue de formas ordenadas que procesan energía e información) es necesario que se produzca la entropía, incluso en la etapa estacionaria del sistema. En la misma sigue habiendo disipación, sólo que se da a una tasa mínima compatible con las fronteras energéticas

¹⁰ Se pueden encontrar ejemplos de procesos ecopoiéticos en selvas antropogénicas como sistemas de cultivo. Es el caso de muchos lugares en Amazonas, de las agroforesterías serranas en México o del “jardín forestal maya” (Nigh y Ford, 2015). Son resultado de procesos que se están gestando durante milenios. El problema de la agricultura de todos los tiempos es que no alcanza a producir alimentos en cantidad suficiente para el crecimiento poblacional que la acompaña.

del sistema. Los dispositivos tecnológicos no suprimen ni sustituyen a los que se produjeron previamente en los niveles prebióticos y orgánicos. Los dispositivos artefactuales continúan la evolución en tanto proceso energético que se sostiene con la disipación en aumento. Así es como funciona nuestro mundo. Con todo, el objetivo de la vida no es disipar energía –opina Nicholas Georgescu-Roegen– sino disfrutarla y, mientras tanto, no morir en el intento, si es posible. Nuestro nivel de consumo energético es un problema de adicción. Y como quien dice, las adicciones provocan amnesia y otros problemas que no recuerdo.

Si bien no tenemos la situación bajo control, nos quedaría un margen de maniobra, el cual podríamos aprender a usar por nuestra cuenta. Una de las manifestaciones de la crisis civilizatoria en curso es la distancia que hay, o de plano el divorcio, entre la racionalidad del conocimiento científico y la toma de decisiones en la arena política, dominada ésta totalmente por la economía del mercado. La racionalidad humana es intermitente, fragmentada y crónicamente insuficiente para solucionar problemas de cierta envergadura. El *zoon politicon* que hay en nosotros no ve más allá de sus propios intereses. La ciencia es capaz de disolver el pensamiento mítico así como el raciocinio individualista del *homo oeconomicus*, pero por alguna razón no es capaz de convencernos a todos de lo que nos conviene. Con todo, la solución no depende de nuestro “mobiliario ontológico” –la metáfora es de Bruno Latour– que tengamos en la cabeza y de las mudanzas que hagamos con él. Es un asunto pragmático de cómo sobrevivir en un mundo cuyo desgaste aumenta. En épocas de expansión ese desgaste queda inadvertido, pero no así cuando disponemos de un modelo que lo incorpora por default.

5. ¿SEGUIREMOS SIENDO NATURALEZA?

Es imposible que la humanidad (cualquier cosa que este término signifique) se ponga de acuerdo sobre qué es “la naturaleza” y cuál es su propio lugar en ella. Sin embargo, en el terreno racional podemos definir algunos conceptos y discutir ideas para, tal vez, entendernos entre quienes lo necesitamos. ¿Para qué? Para no perder la esperanza en el más acá. La esperanza parece ser la forma más sutil de energía.

Pues bien, la imagen de un universo armonioso, concebido como “el orden en todas partes”, a modo de un mecanismo de relojería que mide el tiempo newtoniano, lineal e infinito, dejó de funcionar en la ciencia moderna. Fue sustituido por un universo caótico en expansión/contracción, con el orden que evoluciona al compás de la entropía que el mismo produce. La metáfora que viene al caso es la del *vórtice*, un fenómeno de autoorganización a partir de la diferencia entre los gradientes, la rotura de simetría más la irreversibilidad de su tiempo. El orden se produce a partir de fluctuaciones y su mantenimiento contribuye al caos ya que exige energía extra. De ahí que los sistemas que la disipan se necesiten mutuamente: en la producción de su existencia en ningún momento pueden eliminar el déficit energético creciente e imparable, sino extrayendo la energía útil y traspasando la energía ligada de unos a otros. El desgaste los obliga a moverse cada vez

más de prisa o más ágilmente *porque el tiempo se acaba para todos*. Es posible mejorar la eficiencia de un proceso energético en algún aspecto particular, pero sólo al costo de causar más desorden en otra parte. Crecer y expandirse es aumentar el consumo, eso es, la destrucción/construcción. Ambos son condición *sine qua non* para seguir en el juego. Lo que habrá que ver es a qué velocidad y en qué rubros hay que crecer. La *ecología política* está interesada en estudiar las formas alternativas de llevarse con el ambiente y comparar resultados. Una excelente introducción a esta temática, puesta al día, es el trabajo de Omar Felipe Giraldo (2018).

El principio entrópico indica que no es posible aprovechar la energía al cien por ciento, sino en una pequeña fracción. La mencionada *eficiencia de Carnot* ya refiere que un 90 por ciento del total de energía procesada se pierde. En teoría, porque en realidad es más. Dada esta asimetría, el déficit entrópico ha de compensarse con energía no sólo siempre nueva, sino y en cantidades crecientes. Todos los sistemas al realizar el trabajo disipan energía al por mayor y no la recuperan. En cuanto a lo que se puede recuperar de los desperdicios, el reciclaje exige una energía extra, La tecnología, incluida la de fuentes así llamadas “renovables”, puede solucionar algunos problemas sobre la marcha, incluidos los que ella misma está creando, pero no así *ad infinitum*. La tecnología no resuelve la contradicción de un sistema extractivista depredador que crece exponencialmente en un mundo finito. “Una civilización que se erigió con la consigna de ser dueña de la naturaleza y dispuso de una tecnología para probarlo, no puede sobrevivir más que en el infierno que ella misma creó”, observó una vez Gregory Bateson.

La “mecánica de la utilidad”, que es como se autodefine la economía capitalista, impide ver las consecuencias de las actividades humanas más allá de su productividad, esto es, una producción medida en dinero. Las así llamadas “contingencias ambientales” no tienen importancia porque son “efectos secundarios no deseados”. “Contingente” quiere decir fortuito, no esencial, que se produce sin querer. Aquellos efectos, sin embargo, son resultados sistémicos que obedecen al principio entrópico y como tales son la secuela principal, mayoritaria e ineludible. Calificarla de “contingente” es querer exorcizarla, lo cual resulta más barato que tomarla en serio.

La “otra hipótesis”, la que conforma el corpus de *la teoría del caos*, postula los procesos naturales como irreversibles, no lineales, estocásticos y asimétricos, ya que sólo pueden darse en el régimen fuera del equilibrio y alejándose de él hasta donde sea posible. Es lo que hacen las sociedades humanas todo el tiempo: exploran los límites de su existencia hasta el extremo de ponerse en peligro. Las sociedades humanas no son inmunes a los riesgos de la dinámica energética que es la base de la evolución. Sólo pueden evolucionar los sistemas que degradan la energía. La energía disponible es el principal *objeto en juego* en la disputa por la existencia (Ludwig von Boltzmann, citado de memoria).¹¹

¹¹ El argumento de Boltzmann es criticado como “reduccionismo termodinámico de la ciencia imperial” (véase <https://www.dukeupress.edu/the-birth-of-energy>). Se dice que Boltzmann con su enfoque estadístico pretendió salvar la segunda ley para la representación mecanicista de la naturaleza de choques entre átomos. Su giro hacia la interpretación probabilística, sin embargo, abrió las

Adams concluye su reflexión sobre estos temas diciendo que “la capacidad humana de desencadenar flujos crecientes de energía no se equipara, en modo alguno, con la escasa habilidad de controlar los flujos subsecuentes. Los seres humanos hemos concentrado nuestra atención en los procesos que prometen mayores rendimientos, descuidando la calidad del control de los mecanismos detonadores” (Adams, 2001, p. 109). La respuesta a la pregunta inicial del presente alegato, de si las sociedades humanas aprenderán de su experiencia, es esta: el principal problema en el manejo de energía de alto potencial que emplean las sociedades modernas tecnificadas es el descuido de *la calidad* de los mecanismos de regulación, en especial, de los controles posteriores al uso de energías exosomáticas. Las cantidades de basura no reciclada, de contaminantes liberados al medio y residuos tóxicos peligrosos para la vida son una amenaza al hábitat humano. No se trata simplemente de un error técnico o “descuido”, sino de una característica principal de la estrategia de concentración de la riqueza en el capitalismo. Es un conflicto social de grandes proporciones. El mercado de trabajo no paga por las tareas del mantenimiento, la limpieza y la deposición de los desechos. Son tareas de mujeres y trabajadores informales que constituyen la mayor parte de la mano de obra del sistema, más de la mitad en los países “en vías de desarrollo”, pero que no figuran en ninguna nómina.

Cuando hablamos del manejo de flujos energéticos de alto potencial de trabajo estamos hablando de un problema encontrado, esto es, de una “característica emergente” en términos de un modelo evolutivo. Ninguna de las especies excepto la nuestra tiene la necesidad de dispositivos tecnológicos cada vez más complejos, costosos y dañinos para el medio. Organizados por el mercado capitalista resultan inmanejables, ya que los residuos pocas veces son negocio. La tecnósfera que se está ciñendo sobre nuestras cabezas pone a prueba la capacidad del planeta para sostenernos, mientras que nosotros estamos viendo para otro lado, hacia nuevos mundos que colonizar.

6. LO QUE DEBE CRECER

El modelo de sistemas disipativos, inspirado en la dinámica evolutiva, sugiere preguntas diferentes de las que derivan del modelo mecanicista. Si no somos una excepción en el mundo, mucho menos dueños de éste, entonces tenemos que apostar por la participación. ¿Podrá la “civilización de la máquina” –la expresión es de Karl Polanyi– encontrar su lugar entre los procesos que llamamos naturales e integrarse en el mundo como un subsistema entre otros? ¿Es posible una agricultura compatible con el funcionamiento de la biósfera? ¿Es posible que la población humana en crecimiento se ajuste a las posibilidades del planeta y respete su biocapacidad de recuperación, de por sí ya vulnerada? ¿Qué modelo de sustentabilidad no sería dañino para los procesos que sostienen la vida en la Tierra?

Son preguntas pertinentes porque la globalización neoliberal va en el sentido contrario: sigue la ruta de maximizar exponencialmente el consumo energético

puertas a la informática y la teoría de sistemas.

mas no le interesa el tratamiento de desperdicios ni el retorno de biomasa, agua y oxígeno. El capitalismo, en particular el mercado de capitales especulativos, no tiene la capacidad de percibir los límites de su expansión. Este es el defecto más visible del sistema, que le va a costar la permanencia. Ahora bien, como este comportamiento no contradice ninguna de las leyes naturales, al igual que una catástrofe, seguirá su curso hasta agotar las posibilidades de un ambiente. También podríamos desandar el camino y acoplarnos con la Tierra viviente mediante procesos de simbiogénesis. Para que esto suceda hay que entender que la biósfera está permanentemente en trance de conciliar la mínima disipación con la máxima estructuración de procesos informáticos que la regulan como una unidad. Así funciona todo sistema adaptativo, al menos esta es la hipótesis de trabajo (Laland *et al.*, 2015). ¿Llegarán algún día las sociedades humanas a darse cuenta de su comprometida posición en la biósfera? El conocimiento es importante para la organización de la subsistencia de una sociedad humana, pero las decisiones sobre este asunto se toman en la arena política, fuertemente influenciada por mercado de capitales. El conocimiento especializado o los sistemas expertos tienen una influencia intermitente y a todas luces insuficiente y marginal. Es por esa y otras razones que el asunto tiene que remediarse con la política. En los flujos de información procesados por medios al alcance de los humanos también opera el principio entrópico en tanto que éstos siempre necesitan un soporte material.¹²

Desde luego no somos Dios para saberlo todo, pero la mente humana parece necesitada de creer en un orden superior de las cosas, una fe con la que complementa su insuficiencia de información de cara a los riesgos. El dogma del “gran plan” o el “diseño inteligente”, tan caro a los espíritus religiosos, postula una dirección predeterminada en los cambios, que en términos seculares se entiende como progreso, desarrollo y un futuro mejor. En este aspecto, dice Mary Douglas, *we are basically fools*. Y, sin embargo, aquí estamos. La expansión de las sociedades humanas a lo largo y ancho del mundo se debe en buena parte al conocimiento, pero también a que la necesidad nos obliga a solucionar problemas apremiantes sobre la marcha. Y cuando estos problemas por efecto de acumulación llegan desafiar los límites planetarios de *energía disponible* el asunto es diferente: ya no depende de la “voluntad política” ni del conocimiento acumulado. Es así porque el procesamiento de datos por medios que están al alcance de los humanos –la cultura como el manejo de símbolos borrosos– abarca una ínfima parte de toda la información que circula en un sistema energético-ecológico-social.

¹² Un botón de muestra de la eficiencia (la de Carnot, véase más arriba) de las discusiones sobre las energías limpias, no contaminantes y gratuitas, que a la luz de la información que se tiene sobre el calentamiento global son en su mayor parte ruido informático. En estas condiciones de insuficiencia las decisiones que se tienen que tomar en todo tipo de foros se hacen ejerciendo la política. Y para acabar pronto: “El ejercicio del poder en la esfera pública es una actividad sórdida, incompatible, por naturaleza, con la honradez y con el respeto a los códigos de la ética de cada época. (...) En el proceso político suele predominar la mediocridad y, con frecuencia, la injusticia, la corrupción, la violencia, el crimen. Los que no afloran sino con cuentagotas son los ejemplos de política como expresión de lo mejor del espíritu humano” (Meyer, 2016, p. 51).

Me pregunto qué pasaría si nuestro mapamundi mental tuviera como la premisa básica general, en la que insistí más arriba, de que “sólo es posible sobrevivir en un mundo cuya entropía aumenta” (Georgescu-Roegen, 1996). Veamos la premisa menor: *es posible sobrevivir disipando energía, pero sólo a costa de aumentar la disipación*. En tal caso se tienen que aceptar límites sobre los límites. La evolución está elaborando constantemente dispositivos que permiten a los procesos de disipación seguir su curso, en ocasiones en niveles más complejos, en otras, en escenarios simplificados. Para un sistema energético individualmente considerado hay un límite de consumo, pero cuando los sistemas se juntan en redes pueden superar tal límite. La evolución, pues, consiste en traspasar los límites de crecimiento.

Un ejemplo: individualmente sólo podemos consumir dos mil calorías por día, pero la cantidad de calorías invertidas socialmente en asegurar la continuidad de este nivel del consumo puede resultar incalculable. En parte por la cantidad de factores que habría que tomar en cuenta y en parte porque el nuevo nivel de consumo tiene costos crecientes. Las “islas de orden” –la metáfora es de Kenneth Boulding– que están flotando en el océano del “caos creativo” están cada vez más y mejor interconectadas, sin embargo, se vuelven más vulnerables, ya que a más complejidad más costoso el mantenimiento que implica un gasto adicional progresivo. Cuanto más activo el sistema, más oneroso se vuelve para su medio y más porosas serán sus fronteras.

Veamos un par de propuestas de salida. El «programa bio-económico mínimo» de Nicholas Georgescu-Roegen (1975) va en la línea de argumentación resumida hasta aquí. No es posible evitar el desgaste, pero mucho del mismo es evitable por innecesario y peligroso. El autor propone, en primer lugar, suprimir el gasto militar (*sic!*), luego evitar el consumo de productos extravagantes y nocivos (doble *sic!*) y, finalmente, ajustar la población a un nivel permitido por la agricultura compatible con la capacidad ecosistémica de recuperación (triple *sic!*). El autor no dice cómo podría conseguirse todo esto y probablemente nunca albergó la ilusión de que estas metas puedan conseguirse por la “voluntad política” de los implicados.

Las sociedades humanas pertenecen a la misma secuencia evolutiva de sistemas que disipan energía para perdurar y para poder seguir en “el juego de la evolución en el teatro ecológico”, según una metáfora de Theodosius Dobzhansky. De ahí que la economía ha de crecer, al menos en ciertos rubros, aunque no necesariamente a una velocidad fuera del control.

Es obvio que el crecimiento exponencial en un mundo limitado es imposible, pero el estado estacionario tampoco es la opción. Sólo podemos ir hacia adelante o hacia atrás, crecer o decrecer, pero no quedar estacionados en el mismo lugar con el mismo nivel del consumo. Esto es como un monociclo, el balance sólo se consigue a costa de movimiento hacia adelante, pocas veces hacia atrás. Toda actividad resulta en un déficit entrópico, la económica también, por lo cual exige más y más entradas de energía, lo que significa más y más disipación. Con buena parte de la cual al final del día carga el medio, lo cual se hace especialmente visible en el manejo de los residuos. Tal vez podría mantenerse una *tasa* más o menos constante de la producción de entropía, pero no una tasa cero; cosa físicamente imposible.

La pregunta, entonces, es por lo que *debe de crecer* en una economía y qué es lo que puede y debe decrecer o desaparecer del consumo. En términos generales habría que favorecer el manejo de recursos que dejan la menor huella ecológica posible, una que evitaría el deterioro “innecesario”, que menciona a propósito Georgescu-Roegen. Tal estrategia podría permitir una transformación de la estructura social hacia una compatible con el medio orgánico.

Sería más fácil pensar en lo que no debería decrecer. El consumo desbocado, el transporte de larga distancia el mercado especulativo, la publicidad perniciosa y cosas por el estilo que empeoran mucho la situación podrían controlarse. Este es el programa de decrecimiento promovido por Serge Latouche (2009). Las mega obras en gran escala deberían agregarse a la lista cuando se hacen a costa del ecocidio. No ayuda en nada medir el crecimiento como Producto Interno Bruto mientras éste no incluya los costos verdaderos, que son los ecosistémicos.

El programa de Georgescu-Roegen resulta desconcertante. En las circunstancias actuales es inviable. El autor estaba consciente de ello y en el mismo texto invita a leer su propuesta como “un cuadro general de los problemas (...), esto y nada más”, como un diagnóstico pues (1975, p. 783, énfasis suyo). Ahora bien, si las circunstancias impiden aplicar el programa, podría decirse, parafraseando a Hegel, peor para las circunstancias. ¿Acaso las circunstancias son eternas? El rumbo que tomó la civilización industrializada involucrándose en el consumo de energías de alto rendimiento *sin hacerse cargo de la basura y la contaminación que esto produce* lleva a pensar en la oportunidad perdida (Rich, 2018). La basura ya nos alcanzó. Basta con mirar alrededor nuestro.

Los diagnósticos como estos llevan a concluir que, si no se implementan ciertas medidas por las buenas, sucederá de todos modos lo que tenga que suceder. No será el fin del mundo, desde luego, sino del hábitat humano como “ambiente benigno”, según una expresión de Richard N. Adams (2001). Después, a la hora del desenlace, los sobrevivientes se verán obligados a seguir reglas del juego diferentes. Lo que sugiere Georgescu-Roegen es que la población mundial se ajustaría a la capacidad de la agricultura orgánica independientemente de todo lo demás.

La discusión de si la agricultura orgánica es más eficiente que la industrial está dándose en la academia, pero la solución no consiste en debatir posiciones irreconciliables. Es un tipo de problemas que suelen resolverse por la vía de los hechos. La agricultura industrial, por ejemplo, sostiene la productividad con insumos petroquímicos, por lo que el suelo se pierde irremediablemente. Ahora bien, ¿qué clase de agricultura podrá alimentar una población en crecimiento exponencial como el que se está dando? Ajustar la población mundial a la biocapacidad de los ecosistemas difícilmente puede ser una cuestión de políticas públicas. Son realidades de gran tamaño a las que subyacen fuerzas profundas fuera del control humano.

Ante nuestros ojos se está desplegando “un cambio de escenario, una alteración del panorama global que nadie puede prever ni controlar, como resultado del cual las dificultades que hoy día son intratables quedarán atrás” (Gray, 2013, p. 63). Surgirán nuevas paradojas, grandes y pequeñas, como problemas exclusivamente humanos. “Pero la humanidad no marcha a ninguna parte. «La humanidad» es

una ficción compuesta a partir de miles de millones de individuos para los cuales la vida es singular y definitiva” (Gray, 2013, p. 15). Hay quienes confían en la “sabiduría de la naturaleza” para salvarnos de nosotros mismos. Con lo de “sabiduría” le atribuyen a la realidad misma una característica que es, aunque no siempre, un subproducto de la precaria racionalidad humana. En el ámbito de esta última no hay verdades definitivas sobre las que construir un conocimiento seguro, completo y confiable. “Lo que hay es una infinidad de analogías que nos ayudan por el camino” (Gray, 2013, p. 110). Nos ayudan o nos confunden. Las analogías conforman narrativas sin que se pueda establecer cualquiera de ellas como la verdad única y definitiva. Sin embargo, habrá algunas narrativas más verosímiles que otras. ¿Cómo se determina esto? El conocimiento puede dar la sensación de conferir poder sobre algunas cuestiones puntuales, por ejemplo, para producir bombas atómicas, pero los problemas más graves que percibimos como tales nos superan, quedando sin resolverse. El mundo es un caos localmente ordenado de sistemas que en cualquier momento pueden regresar a sus orígenes fluctuantes. Así también la mente humana que evoluciona en este mundo y no en otro. El ser humano no tiene naturaleza, tiene historia. En ratos libres, los que le deja el imperativo de *primum vivere*, el ser humano es presa de “la tentación de existir” —diría Ciorán— dedicándose a construir imágenes de sí mismo grandiosas y elaborando mapas de su territorio, que luego fácilmente proyecta sobre la realidad para someterla a sus deseos. La realidad, sin embargo, es por definición lo que se resiste.

7. LA ECOPOIESIS TIENE LA ÚLTIMA PALABRA

El medio del que dependemos es cada vez más impredecible e inseguro. ¿Sabe la biósfera algo que nosotros no sepamos? El tratamiento que le da la selección natural a las crisis de superpoblación, por ejemplo, no es una solución aceptable, que digamos, para la sociedad humana empoderada con energías extrabióticas. De todos modos estamos al principio del Antropoceno en medio de la sexta extinción en masa. Nadie lo ha dicho mejor que Bruno Latour: “Si no aprendemos cómo compartir el mundo, pronto no habrá más mundo que compartir”. Y bien... ¿cómo se aprende esto?

Nuestra negativa a reconocer que la evolución de la biósfera está fuera del control humano es un serio obstáculo para entender qué es lo que sucede. Con un cambio de actitud —de conquistadores a copartícipes— tal vez se nos ocurrirían por el camino algunas preguntas juiciosas. Está claro que los niveles de consumo que tenemos por ahora son insostenibles y que la contaminación que dejamos como parte de la “huella ecológica” es un peligro para muchas formas de vida, especialmente la humana. El calentamiento global llegó al umbral de irreversibilidad en la década de los setenta (Rich, 2018). Reconocerlo ayudaría a ubicarnos en la realidad vigente, negarlo da lo mismo que ofrecer soluciones voluntaristas espurias. El sueño de “un mundo mejor para nuestros hijos” se nos volvió una pesadilla. El *american way of life* de las clases medias de todas las ciudades del mundo, a pesar de ser un modelo inviable, lo estamos viviendo como la normalidad.

El discurso de desarrollo, ahora el “desarrollo sustentable”, promete una salida por la puerta del “estado estacionario”, “equilibrio dinámico” o “sustentabilidad gratuita” con el argumento de que todo esto es “natural”. Es una salida por la puerta falsa.

¿Cómo será posible restablecer “ese delicado equilibrio ecológico con la naturaleza” si nunca hubo tal cosa? Los sistemas vivos operan en el régimen físico de no equilibrio termodinámico, para lo cual deben ir creciendo y expandiéndose. Complicarnos la vida o morir, sería la consigna. Si bien es así como se explica el crecimiento económico y el consumo energético de la “civilización de la máquina”, cada vez más tecnificada e informatizada, lo que queda por explicar es la absoluta incapacidad de esta civilización de percibir los peligros que representa su expansión a costa de la destrucción de su hábitat. ¿Tiene que ser así? Pedir explicación supone, desde luego, que habría un conocimiento racional basado en una teoría capaz de ordenar los observables en una narrativa coherente. Tal vez la ecología política construya algún día esta narrativa. Por ahora, el conocimiento científico no ha logrado sustituir el comportamiento irracional del ser humano en sociedad. A los hechos observables me remito.

En toda la historia natural de la biósfera nunca hubo ecosistema alguno sujeto a las necesidades de una especie en particular. En nombre de toda la humanidad el autodenominado *Homo sapiens* occidental está comportándose como si fuera dueño del mundo entero y va por más. ¿No será más bien *Homo demens*? El experimento que hace la civilización industrializada de dominar la “naturaleza” es a todas luces inviable. La globalización es como un tren en marcha, su éxito reside en que nadie puede bajarse, más todavía cuando va en estampida.

Pero hay quienes observan la economía del mercado desde afuera y desde abajo. Sucede que los sistemas agrícolas que dependen directamente de su medio local y producen alimentos respetando en lo posible su integridad, son los que aparecen en los informes anuales de la FAO como granjas campesinas de menos de cinco hectáreas que, en conjunto, producen el 75% de los alimentos del mundo (Grupo ETC, 2017). Son las comunidades campesinas las que alimentan a las ciudades.

En nuestros días la “vía campesina” se da a conocer por sus movilizaciones contra los megaproyectos que amenazan su subsistencia. El valor de estos movimientos de resistencia, que los medios suelen presentar como protestas atávicas contra el progreso, está no sólo en defenderse contra el mercado que los explota, sino en ofrecer *modelos* de convivencia horizontal con su entorno, modelos susceptibles de reproducirse a bajo costo cuando las condiciones estén dadas. Su integración posterior ha de ser vertical. La verticalidad aquí se refiere a comunidades de una región, una provincia, una cuenca, una nación y lo que venga. Las redes de intercambio entre los sistemas que producen alimentos se integran desde abajo.¹³

¹³ Chac García (2018) describe en su investigación de doctorado (ENAH) cómo los tianguis a cielo abierto son un elemento esencial para la distribución de alimentos en el nivel local, regional e interestatal. Los supermercados de comida industrializada no podrían operar con las ganancias que reportan si no fuera por estos tianguis. Las grandes cadenas de distribución parecen suplementos parasitarios de la economía campesina informal. Lo que hay que salvar de la crisis en curso son los circuitos regionales de intercambio de alimentos, no las grandes distribuidoras de comida chatarra. Si la economía mun-

Las comunidades que se organizan para defender su patrimonio están en esta ruta. La novedad es que esos movimientos se comunican y comparten entre sí sus recursos; principalmente sus conocimientos prácticos del “buen vivir” y, en especial, su visión del mundo, que es diametralmente opuesta a la del utilitarismo mercantil de ganancias inmediatas.

“La tierra no se vende”, es la consigna, porque “es nuestra Madre”, es la creencia. Naomi Klein, periodista canadiense que se dedica a documentar estos movimientos alrededor del mundo, cree que la respuesta al desastre ecológico tendrá que venir desde ahí, eso es, desde abajo. Klein (2015) agrega al diagnóstico del estado del mundo unos asuntos apremiantes que surgieron con el neoliberalismo. Estos son: sanear los sistemas agrícolas, reconstruir las economías locales, atender la migración de refugiados ecológicos, respetar los derechos de los indígenas a sus tierras. La necesidad de abandonar el consumo de combustibles fósiles está fuera de duda, igual que la imposibilidad de conseguirlo en el corto plazo. Pues bien, ¿en dónde estamos parados? Ni un solo asunto que la autora califica de apremiante figura en los programas de desarrollo nacionales de ningún país que haya optado por el modelo neoliberal.

Klein asegura que hay señales en su país y en el continente de que los movimientos campesinos e indígenas en defensa de la tierra están en una nueva fase, la de construcción de alianzas. Como periodista, cree en el poder de la comunicación e insiste en que es posible la solución pacífica de los problemas y el logro democrático no violento de cambios sustanciales. Para conseguir todo esto y lo demás —la justicia ambiental en pocas palabras— primero hay que “liberar nuestras democracias de las garras de la corrosiva influencia de las grandes empresas transnacionales” (Klein, 2015, p. 342). En México, el único sector social que defiende la tierra contra las mineras, los talamontes, los megaproyectos y las compañías productoras de transgénicos son las comunidades de campesinos indígenas (Toledo y Ortiz-Espejel, 2014). Es una batalla desigual, pero sólo por ahora, mientras el ambiente aguanta, al menos en algunos lugares.

La *ecopoesis* consiste en la interacción de las fuerzas creativas de la evolución. Para que esas fuerzas funjan en el ámbito de la evolución social se necesitarán modelos de producción de alimentos compatibles con las capacidades de cada medio, verificados localmente y posibles de reproducirse en cantidades importantes a bajo costo. Porque cuando se termine la economía basada en la quema de hidrocarburos, los sobrevivientes buscarán (¿buscaremos?) desesperadamente modelos de producción ecológicamente viables. Sería mejor que nos moviéramos conscientemente en esta dirección, en la del “decrecimiento sereno”, como propone Serge Latouche (2009). Pues cuando se acabe la “economía de casino” que vivimos ahora, no serán las tarjetas de crédito las que nos podrán dar de comer. No hay economía sin crédito, aseguran los economistas, pero este debe venir de donde hay: de la biósfera misma, y no precisamente en dinero. El complejo industrial-militar-financiero por más complejo que sea no es el que podrá imponer sus reglas

dial está en recesión es porque la gente compra sólo lo que necesita para vivir. ¿Qué nos dice eso de la economía misma?

de juego todo el tiempo. La que sí tiene futuro es la sustentabilidad basada en la ecoipoiesis, esto es, en la autoorganización de sistemas que producen alimentos e insumos vitales en reciprocidad con el medio local.

¿Utópico? El asunto aquí no es proponer una utopía para descartar otra, sino darnos cuenta de qué tanto margen de maniobra tenemos. En las circunstancias actuales, las de una crisis global en progreso, muy poco. Las sociedades industrializadas tendrán que agotar sus posibilidades y lo que sigue después quedará en manos de fuerzas no humanas. Si la utopía es el “no lugar” fuera del tiempo, entonces la ecoipoiesis es prácticamente lo contrario. La utopía sirve para soñar, pero es la ecoipoiesis la que se encarga de una posible realización de un mundo compartido. El valor de los modelos de supervivencia en pequeña escala ensayados localmente consiste en que se necesitarán para después. Por ahora y de cara a las economías de gran escala no tienen importancia alguna. Después del desenlace de la crisis se necesitarán modelos sencillos para copiar y reproducir. Los ladrillos de esta otra civilización serán ecopoiéticos o no serán nada. Se trata de que la evolución de la biósfera siga con nosotros incluidos, si fuera posible.

REFERENCIAS

- Adams, R.N. (1983). *Energía y estructura*. FCE. [Traducción de *Energy and Structure: A Theory of Social Power*, (1975). Austin: University of Texas Press].
- Adams, R.N. (2001). *El octavo día*. México: UAM. [Traducción de *The Eight Day: social evolution as the self-organization of energy*. (1988). Austin: University of Texas Press.]
- Çambel, A. B. (1993). *Applied chaos theory. A paradigm for complexity*. Academic Press.
- Cox, G.W. y Atkins, M.D. (1983). *Agricultural ecology*. San Francisco: Freeman.
- Dennett, D.C. (1999). *La peligrosa idea de Darwin*. Madrid: Galaxia Gutenberg.
- Fernández Durán, R. y González Reyes, L. (2018). *En la espiral de la energía* (2 vols., 2a. edición). Madrid: Ecologistas en Acción.
- García Esparza, C. (2018). *Cambio de alimentos en los tianguis regionales en Acatzingo y Tepeaca, Puebla* [tesis de doctorado, ENAH, México].
- Georgescu-Roegen, N. (1975). Energy and the economic myths. *The Southern Economic Journal*, 41(3), 347–381.
- Georgescu-Roegen, N. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Madrid: Fundación Argentaria. [Traducción de *The Entropy Law and the Economic Process*, (1971). Harvard University Press].
- Giampietro, M., Mayumi, K. & Munda, G. (2006). Integrated assessment and energy analysis: Quality assurance in multi-criteria analysis of sustainability. *Energy*, 31(1), 59–86.
- Giraldo, O. F. (2018). *Ecología política de la agricultura. Agroecología y posdesarrollo*. San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de la Frontera Sur.
- Gray, J. (2013). *El silencio de los animales. Sobre el progreso y otros mitos modernos*. México: Sexto Piso.
- Grupo ETC. (2017). *¿Quién nos alimentará? ¿La red campesina alimentaria o la cadena agroindustrial?* (3a. edición). Publicación electrónica: <http://www.etcgroup.org/files/files/etc-quienosalimentara-2017-es.pdf>
- Hawking, S. (1996). *Historia del tiempo*. Barcelona: Grijalbo Mondadori.

- Klein, N. (2015). *Esto lo cambia todo: El capitalismo contra el clima*. México: Paidós.
- Laland, K.N., Uller, T., Feldman, M.W., Sterelny, K., Müller, G.B., Moczek, A., Jablonka, E. & Odling-Smee, J. (2015). The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions. *Proc. R. Soc. B*, 282, 20151019. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.1019>
- Latouche, S. (2009). *Decrecimiento y posdesarrollo. El pensamiento creativo contra la economía del absurdo*. Madrid: El Viejo Topo.
- Lotka, A. (1925). *Elements of Physical Biology*. Nueva York: Dover.
- Margalef, R. (1980). *La biosfera. Entre la termodinámica y el juego*. Barcelona: Omega.
- Margulis, L. y Sagan, D. (1996). *¿Qué es la vida?* Barcelona: Tusquets.
- Maturana, H. y Varela, F. (1997). *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis, la organización de lo vivo*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Meyer, L. (2016). *Distopía mexicana. Perspectivas para una nueva transición*. Penguin Random House.
- Morton, T. (2013). *Hyperobjects. The Philosophy and Ecology after End of the World*. University of Minnesota Press.
- Nigh Nielsen, R. y Ford, A. (2015). *El jardín forestal maya. Ocho milenios de cultivo sostenible de los bosques tropicales*. San Cristóbal de Las Casas: Taylor & Francis.
- Planck, M. (1978). Una autobiografía científica. En: Autores varios, *Ensayos científicos*. México: Conacyt.
- Prigogine, I. (1983). *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*. Barcelona: Tusquets.
- Prigogine, I. (2004). *Las leyes del caos*. Barcelona: Editorial Crítica, Biblioteca de Bolsillo.
- Rappaport, R. (1979). *Ecology, meaning, and religion*. Richmond: North Atlantic Books.
- Rich, N. (2018, 1 de agosto). Losing Earth: The Decade We Almost Stopped Climate Change. *The New York Times Magazine*. www.nytimes.com/interactive/2018/08/01/magazine/climate-change-losing-earth.html#prologue
- Toledo, V. M. y Ortiz-Espejel, B. (2014). *México, regiones que caminan hacia la sustentabilidad. Una geopolítica que camina hacia las resistencias bioculturales*. Universidad Iberoamericana Puebla.
- Tyrantia, L. (2009). *Evolución y sociedad. Termodinámica de la supervivencia para una sociedad a escala humana*. UAM; Juan Pablos Editor.
- Tyrantia, L. (2016). La sustentabilidad es de quien la trabaja. *Cultura y Representaciones Sociales*, 20, 59–109. <http://www.culturayrs.unam.mx/>
- Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Callejas, A., López Falfán, I.S., Méndez García, J., Suárez Guerrero, A-I., & Suárez Guerrero, M.G. (1999). National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 29(3), 375–390.
- Wackernagel, M. & Rees W. (1996). *Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth*. New Society Publishers.
- Wilson, E. O. (2014). *El sentido de la existencia humana*. Barcelona: Gedisa.

CUESTIONES AGRARIAS Y TRANSFORMACIONES AGROECOLÓGICAS

Nils McCune^{1,*}, *Yorlis Luna*², *John Vandermeer*³ e *Ivette Perfecto*⁴

¹ Investigador asociado, Colaborativo de Agroecología y Medios de Vida, Universidad de Vermont, Estados Unidos; Investigador visitante, El Colegio de la Frontera Sur, Chiapas, México.

² Estudiante doctoral en Ecología y Desarrollo Sustentable de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chiapas, México.

³ Asa Gray Distinguished University Professor of Ecology and Evolutionary Biology, University of Michigan, USA.

⁴ James E. Crowfoot Collegiate Professor of Ecology, Natural Resources and Environment, University of Michigan, USA.

AGRADECIMIENTOS: Este colectivo de autores quisiera agradecer la inmensa paciencia de Mariana Benítez y Tlacaelel Rivera, los comentarios muy enfocados de un/a revisor/a anónimo/a, el apoyo gráfico de Luis Guillermo García Jácome, la edición de Eduardo Vizcaya Xilotl y el trabajo amoroso y constante de las familias campesinas con la Madre Tierra, que nos ha permitido no sólo comer y vivir, sino también soñar con otros mundos posibles.

RESUMEN: ¿Puede haber una transición agroecológica sin que haya una transformación del sistema socioeconómico capitalista? Para muchas personas que estudian el tema, el tránsito de un paradigma agroalimentario a otro, sobre todo cuando se trata de escalas mayores, no está frenado por lógicas internas de reproducción en parcelas y granjas familiares o comunitarias, ni siquiera por factores netamente culturales o falta de conocimiento, sino por la lógica externa, impuesta, de la ley del valor del capital. Aquí nos referimos tanto a las lógicas empresariales que degradan y abaratan a la labor humana y a los bienes naturales, como a las meta-lógicas imperiales de ampliación de mercados, externalización de costos, sobreproducción y apropiación. Está claro que las formas de control económico crean contrapartes políticas: órdenes mundiales de comercio, superestructuras jurídicas que refuerzan las relaciones de propiedad privada, patentes, despojo, guerra. La violencia del modelo agro-hidro-silva-extractivista cae desproporcionadamente encima de mujeres, jóvenes, pueblos indígenas y comunidades campesinas. Sin embargo, mientras la transición agroecológica se basa en una visión bastante desarrollada de la utopía a la cual se dirige, la salida del capitalismo está recargada de caminos engañosos, frustraciones históricas y falta de consensos. Este ensayo se inserta en una disyuntiva incómoda, con el afán de hallar pistas del futuro, tanto de la alimentación como de las sociedades humanas. Visualizar las redes de relaciones entre distintas capas de problemáticas en evolución, como son las políticas, económicas,

* Autor corresponsal: Domicilio: Del vertedero municipal 400 m al oeste, 100 m al norte, Barrio Los Campos, San Marcos, Carazo, Nicaragua. / nils.mccune@uvm.edu

culturales y ecológicas, requiere de visiones plurales, integradoras, escalonadas y sensibles. Este capítulo explora la posibilidad de superposición de dos marcos provenientes de distintas tradiciones: por un lado, las transiciones críticas en los sistemas complejos; por otro, los equilibrios dinámicos que conforman un principio organizativo en las economías campesinas locales que existen y resisten, dentro de y frente a la cultura del capital.

INTRODUCCIÓN

La transición agroecológica, como tantas frases anteriores, está a punto de perder todo significado. Esto ocurre mientras cada vez más actores, con cada vez más acceso a recursos institucionales, financieros y discursivos, se están pronunciando acerca de ella. La Organización de Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) ha creado unos marcos para conceptualizar e instrumentos para medir la transición agroecológica a distintas escalas, incluyendo *FAO Elements* (citado en Barrios *et al.*, 2020) y, más recientemente, *TAPE* (FAO, 2019). El marco clásico de Gliessman se refleja en el enfoque asumido por IPES-Food (2018) y el Informe del Panel de Expertos de Alto Nivel (HLPE, 2019). Las academias del mundo contribuyen a su entendimiento, desde enfoques de agroecología política (Anderson *et al.*, 2019; Calle-Collado *et al.*, 2013) y el metabolismo social del campesinado (Petersen *et al.*, 2020), y el sector ONG con los suyos (Biovision, 2019; CIDSE, 2018). En muchos casos, los distintos marcos de transición son bastante similares; se nota, con el tiempo, más énfasis en el campo político, los actores sociales y la autogestión.

Antes de subirse al caballo de la agroecología institucionalizada, vale la pena escrutar qué es lo que está pasando. A pesar de sus similitudes, el porqué de estos marcos varía de maneras importantes. Algunos, como el CIDSE, aclaran desde un principio que existen para ayudar a conceptualizar qué es y qué no es la agroecología —reconociendo de forma tácita que hay disputa sobre el significado de la misma. Otros marcos existen para guiar el trabajo de las familias campesinas y agricultoras en un camino de transición a nivel de parcela, granja o finca (Gliessman *et al.*, 2007). Otros parecen más dirigidos hacia las agencias de cooperación y existen para que bancos e inversionistas puedan evaluar qué tan agroecológico es su portafolio (Biovision, 2019). Después hay marcos que sirven para profundizar el entendimiento de ciertos enfoques teóricos y otros que dejan implícita toda la teoría y buscan ser aportes metodológicos para el acopio de datos en muchas parcelas a lo largo del planeta (FAO, 2019).

Sin lugar a dudas, cierta porción de esta repetitividad y proliferación de marcas se debe al egoísmo y la competitividad que caracterizan a la ciencia institucionalizada occidental —tal hombre no quiere al otro y no puede usar su marco y otras cosas de esa calaña, que han quitado prestigio a la agroecología como disciplina científica desde sus orígenes. Por otra parte, sirve preguntarnos acerca de los distintos diseños y enfoques de la transición o transformación agroecológica. Estas diferencias van desde la escala de interés—sea de parcela, unidad económica, comunidad, paisaje, localidad, nación o mundo— hasta cómo se ubica la subjetividad del cambio, si es una transformación tecnológica, social, política, cultural, etc., y los

roles específicos de los actores y las instituciones. Por eso, cuando miramos estos marcos, comenzamos preguntándonos: ¿qué se transforma?, ¿qué se transita? Y, ¿qué tiene que ver esta transformación con el escenario de guerra y conflictividad que vive una creciente mayoría de la humanidad?

Las primeras apariciones en la literatura sobre lo que se solía llamar la *conversión* agroecológica se refieren casi exclusivamente a los procesos biofísicos y, por lo general, estaban imaginadas desde la propiedad privada, la preexistencia de tecnología convencional-industrial y la sustitución de insumos químicos comprados por insumos orgánicos comprados, como ejes rectores (Altieri, 1983; Gliessman, 1998). De ahí, y bajo la influencia del creciente movimiento por la soberanía alimentaria, aparecen conceptos como el derecho a la alimentación, que le dan un carácter más político a la agroecología. Se adopta una concepción de la agroecología que sobrepasa a las unidades productivas para abarcar todo el sistema alimenticio (Francis *et al.*, 2003). La escuela de Eduardo Sevilla Guzmán, en Andalucía, ha contribuido con una teorización de lo que llaman la *transición* agroecológica, integrando aspectos desde la sociología neopopulista y el marxismo heterodoxo (Calle-Collado *et al.*, 2013), y otros autores comienzan a hablar de una *transformación* agroecológica (Méndez *et al.*, 2013). A partir del 2014, las instituciones internacionales incursionan en la agroecología, introduciendo marcos que parten de una concepción de “políticas públicas basadas en la evidencia” y se produce una bifurcación entre los enfoques que tienden a normalizar la economía política neoliberal y los que la señalan como objeto de la transformación agroecológica (Levidow *et al.*, 2014; Giraldo & Rosset, 2018).

Sin embargo, creemos que aún no están presentes todos los elementos necesarios para entender las mutaciones en los sistemas agroalimentarios. En general, los trabajos carecen de un componente de economía política y, por lo tanto, suministran respuestas muy débiles a la necesidad de entender cómo se conjugan los distintos sujetos sociales, políticos y económicos en los territorios. No están llevando a cabo análisis de coyuntura con la debida profundidad, ni con el conocimiento de los actores beligerantes y sus proyectos de clase.

Por otro lado, si hay muy poca atención crítica dirigida a la ley del valor del capital, mucho menos hay capacidad de colocarla como objeto de transformación e indicador en las transiciones agroecológicas. Careciendo de estos marcos, el énfasis en lo político tiende a mantenerse hipnotizado en lo jurídico, discursivo e ideológico; enfoques con creciente uso, no diferencian con suficiente claridad los elementos que pertenecen a la superestructura sociopolítica de aquellos provenientes de la base productiva de la sociedad, en algunos casos confundiendo causa y fenómeno.

Algunos autores han presentado bosquejos de las distintas tendencias políticas que promueven el vocabulario de la agroecología, la transición agroecológica, la justicia alimenticia y/o la soberanía alimentaria, además de sus diversos intereses y las contradicciones entre sí (Holt Giménez & Shattuck, 2011). Entre estos actores están la FAO, el agronegocio transnacional, algunos gobiernos de corte progresista, un abanico de organizaciones no gubernamentales de distintas orientaciones, instituciones académicas del Sur y Norte globales y un mundo de organizacio-

nes, movimientos y resistencias locales, regionales, nacionales e internacionales. La disputa por la agroecología como territorio discursivo está convirtiéndose en un frente de la ‘guerra de posiciones’ entre capital y trabajo a nivel internacional, y que abarca la lucha por la hegemonía sobre el presente y futuro de la alimentación, y con ella la tierra, el agua, la semilla, entre otros recursos esenciales para la vida. Bajo el paraguas discursivo de la transición agroecológica, está en disputa el control sobre la vida.

FASES Y FACETAS DE LA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA

¿Quiénes son los sujetos de esta transición? ¿Los elementos de avance? ¿Los elementos conservadores y de retaguardia? Son algunas preguntas necesarias, si la transición agroecológica significará algo más que una fase de capitalismo basada en la mercantilización de todos los componentes de la naturaleza, como está proponiendo el Foro Económico Mundial con cada vez más fuerza (Schwab & Malleret, 2020).

La agroecología surge como *corpus* de pensamiento alrededor de los sistemas alimentarios en las últimas décadas del siglo XX. Parte del reconocimiento que antes de la proliferación de las tecnologías y lógicas de la revolución verde, existían miles de formas de la llamada agricultura tradicional, en la vasta mayoría de casos capaces de alimentar a numerosos grupos humanos durante siglos sin agotar los sistemas naturales de regeneración de agua, suelo y bosque, ni alterar los equilibrios ecológicos de herbivoría, depredación, polinización y descomposición. Hay partes de Asia, América Latina y África donde estos sistemas indígenas de diálogo y convivencia con la naturaleza siguen suministrando la alimentación de la población del campo e incluso de la ciudad. La agrobiodiversidad disponible para la humanidad es esencialmente producto de la coevolución de estos heterogéneos sistemas de técnicas de domesticación de especies y convivencia entre lo cultivado y lo natural. De ahí que un primer pilar de la agroecología es que *existen y pueden existir otras maneras de hacer agricultura*, sin necesidad de recurrir a los referentes del modernismo (ej. ciencia y mercado).

Posterior al reconocimiento de otras agriculturas y formas de vida, la agroecología se erige como ciencia dedicada a entender estas agriculturas, sobre todo en cuanto que pueden mostrar ventajas comparadas con las técnicas del sistema de producción industrial de alimentos-mercancías. Aquí la agroecología existe como una especie de combinación de la agronomía con la ecología, buscando tanto en los ciclos de vida de las poblaciones biológicas, como en los ciclos materiales y en los flujos de energía algunas pistas para entender las características ecológicas de la agricultura indígena. De la ecología de sistemas se empieza a emplear el concepto de propiedades emergentes, según el cual un sistema complejo manifiesta características o comportamientos que no están presentes en ninguno de sus componentes.

AGRICULTURAS Y ECONOMÍA CAMPESINA

La relación sostenida entre las economías campesinas y las economías capitalistas más grandes ha sido un punto de discordia histórica entre los estudiosos. Muchos están de acuerdo en que la agricultura campesina es un modo de producción distinto y, por lo tanto, como todos los modos de producción, existe a lo largo del tiempo en oposición dialéctica a las formas sucesivas de organización social y económica. Sin embargo, de la conclusión de que las economías campesinas no son capitalistas no se desprende que representen ninguna amenaza para el sistema capitalista en el que se insertan. Si bien en algunas circunstancias históricas el campesinado fue la base social de los ejércitos guerrilleros revolucionarios, y en otras la agricultura campesina expresa los límites territoriales de la expansión del capital, en otros casos puede no ser beneficioso para el capital sacar a los productores directos de sus tierras (Wolf, 1969). De hecho, la importante oferta de alimentos de bajo costo proporcionada por el sector campesino, así como el “ejército de reserva” de mano de obra mantenido a través de la producción campesina, tienen el efecto combinado de estabilizar las condiciones macroeconómicas y mantener los bajos salarios durante los ciclos de auge y caída de la industrialización. Además, las relaciones imperialistas que impactan fuertemente en muchos de los países con un gran campesinado han trasladado históricamente la carga de la supervivencia nacional al sector campesino.

Ha habido quizás tres grandes periodos de estudios campesinos en la historia moderna. Uno podría definirse aproximadamente como entre 1895 y 1929, y se ocupó en gran medida de la situación revolucionaria emergente en Rusia, un país con escaso desarrollo capitalista y, más tarde, de la transición de una economía de guerra a lo que se convertiría en el socialismo soviético. Durante este mismo periodo, una revolución campesina en México y el inicio de una revolución campesina en China contribuyeron al peso global de la “cuestión campesina”, tal como se formuló en Europa. El segundo periodo significativo de estudios sobre el campesinado abarca los movimientos de liberación nacional posteriores a la Segunda Guerra Mundial en Asia y África, así como las luchas revolucionarias en América Latina, en las que la reforma agraria fue el pilar fundamental del postcolonialismo. El tercer periodo importante de estudios sobre el campesinado podría definirse como el periodo comprendido entre 1990 y el presente, con la consolidación de una hegemonía neoliberal mundial, el estallido de luchas anticapitalistas y antiglobalizadoras y el crecimiento del movimiento campesino transnacional La Vía Campesina. Ciertamente, han habido luchas por la tierra en los intervalos entre estos periodos —el nunca implementado el programa oficial de reforma agraria de Filipinas posterior a F. Marcos, que aún no ha nacido, es un ejemplo de ello—, sin embargo, la riqueza de las contribuciones teóricas y el desarrollo de las reivindicaciones de los movimientos agrarios durante estos periodos es digna de mención.

Hace casi 100 años, el economista soviético Alexander Chayanov, en el contexto de la experiencia de la Revolución Rusa, lanzó una teoría: que la unidad económica familiar en los campos de Rusia operaba bajo una lógica interna que

la diferenciaba de la economía capitalista en la cual estaba sumergida. Mientras la escuela ricardiana clásica de economía política asociaba al campesinado con un pasado precapitalista, y no le daba más interés que los mecanismos que ralentizaban o aceleraban su “modernización” (Schejtman, 1980); Marx había visto al campesino como una combinación en una sola persona del capitalista y el obrero, cuya vida se gana a través de la autoexplotación de su propia mano de obra, y Lenin se centró en las divisiones de clase dentro del campesinado y en la identificación del campesino pobre con la lucha obrera, en contraste con los campesinos ricos que se identificaban con la burguesía. Chayanov se enfocó en los equilibrios que buscan las familias quienes ni contratan trabajadores en sus parcelas ni tampoco venden su mano de obra. Encontró que las familias explotan su propio trabajo hasta que haya suficientes alimentos para satisfacer el consumo de todos los miembros de la familia. Después de llegar a ese umbral, el trabajo adicional es visto como oneroso y el tiempo se dedica, en cuanto se puede, a descansar los cuerpos y celebrar la vida según las tradiciones del lugar. Hoy referimos a ese descubrimiento de Chayanov como el balance consumo-trabajo duro.

La oposición entre Chayanov y Lenin se suele resumir en dos preceptos que indican la dirección del desarrollo en cada teoría. Se plantea, entonces, que el análisis de Chayanov va “desde adentro hacia afuera”, lo que significa que, para este autor, las lógicas de uso del trabajo familiar, obedeciendo a los ciclos familiares, las dinámicas ecológicas y estacionales locales, y las culturas campesinas, se construyen internamente y sólo después se constituyen como economías no capitalistas que establecen relaciones metabólicas y mercantiles con los sistemas socioeconómicas que las rodean. Por otro lado, se dice que la teoría de Lenin va “desde afuera hacia adentro”, es decir, que la expansión de los procesos de acumulación y regulación capitalista establece las condiciones materiales, legales y socioeconómicas en las cuales puede reproducirse la agricultura campesina —la propiedad privada, los impuestos, los valores atribuidos a los productos alimenticios, los insumos y la mano de obra— con variados impactos sobre cada dimensión de la reproducción del trabajo y la familia. En ambos casos, el desarrollo es unidireccional: la teoría de Chayanov sería la de mecanismos internos de la unidad doméstica, mientras la de Lenin sería de factores externos. Este modo de ver es simplista, pero sí captura que, en su esencia, las teorías se refieren a procesos distintos e interrelacionados, mas sólo en ocasiones a escala de espacio y tiempo similares.

El cuerpo de trabajo teórico de Vladimir Lenin respondió a las necesidades de dirigir la primera revolución proletaria en el mundo. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta que su análisis de la cuestión agraria de 1901 bajo el zarismo no se refleja cabalmente en las políticas del poder soviético, ni del periodo de comunismo de guerra, en los años después de la Revolución de Octubre, ni en la Nueva Política Económica (NEP, por sus siglas en inglés), que se aplicó a partir de 1921 y hasta la muerte de Lenin en 1924.

El trabajo teórico de Lenin explora la penetración del campo por el capitalismo, su capacidad de imponer su ley de valor y causar pobreza en el campesinado. Frente a la visión romántica del campo, Lenin (1961) se ocupaba en mostrar que

la diferencia entre campesinos grandes y campesinos pequeños implicaba que los segundos sufrían hambre y no gozaban de una calidad de vida mejor que los trabajadores agrícolas sin tierra. Explicaba la situación del campesinado a base de su lucha por la independencia económica, pero bajo condiciones demasiado adversas: pagando renta a un terrateniente, vendiendo productos a precios creados por la sobreproducción en fincas grandes, radicalmente limitando su consumo alimenticio para pagar sus deudas. Lenin (1965) concluía que las reglas establecidas del sistema capitalista impulsaban a la mayoría del campesinado a migrar hacia las ciudades, dejando en su lugar a una minoría de agricultores, ya grandes, que contrataban trabajadores y se especializaban en la producción de mercancías, en otras palabras, una burguesía agraria.

La teoría chayanoviana, creada en su mayor parte en los años justo después de la muerte de Lenin, respondió a su momento histórico, que era durante la implementación de la Nueva Política Económica, la que buscaba reconciliar elementos del capitalismo —como los impuestos a las empresas privadas— con la construcción socialista, es decir, representa un periodo en que el Estado reducía su nivel de participación en la economía soviética. La tesis de Chayanov (1966) coincidía con la de Lenin en que no era posible para el Estado soviético exigir que las pequeñas fincas campesinas intensificaran su producción y que se resistirían a una cooperativización forzosa para crear fincas estatales.

Mientras que Lenin se detuvo al notar el bajo nivel de consumo alimenticio en las familias campesinas pequeñas, Chayanov se dedicó a entender sus decisiones sobre el uso de la mano de obra familiar. Concluyó que para la familia campesina, la rentabilidad no es un factor de tanta importancia, como lo es en la economía capitalista. Dentro de una economía de trabajo, la familia mantiene ciertos equilibrios para que su propio trabajo le dé los resultados deseados, sin convertirse en una carga onerosa o una amenaza a la salud. El primer equilibrio identificado por Chayanov fue el de trabajo-consumo, en el cual la utilidad de cada unidad adicional de trabajo se cae precipitosamente una vez pasada la cantidad de trabajo necesario para producir la alimentación suficiente para todos los miembros de la familia. Aunque no llegaron a ser traducidas al inglés durante décadas, las obras de Chayanov (1966, 1986) llegaron a tener una enorme influencia sobre el campo de estudios campesinos.

Hay críticas a la teoría de Chayanov por ser ahistórica, pero ha servido como explicación de una realidad observada —la resistencia de la economía campesina a desaparecer ante la acelerada expansión de relaciones capitalistas—; hecho que ha influido en el creciente interés científico en los equilibrios campesinos.

El concepto de equilibrios campesinos ha sido desarrollado en otros continentes y contextos. Jan Douwe van der Ploeg (2008), con base en experiencias de Europa y Suramérica, identifica otros equilibrios cuidadosamente mantenidos en la praxis campesina: los del presente-futuro, producción-reproducción, actividades humanas-naturaleza viva. La economía campesina, con su base autónoma de recursos como tierra, agua, semilla y tecnologías productivas, tiene el atributo de poder decidir estratégicamente cuáles aspectos del proceso productivo serán ma-

nejados como forma mercancía y cuáles no. Una parte significativa de la labor total que se invierte en la parcela produce las condiciones para la producción futura, de esta manera mantiene distancia de las relaciones de dependencia con la industria de insumos agropecuarios. De su producción total, la familia campesina saca su alimentación, parcial o completa, y de esta manera también reduce su dependencia de entradas materiales del sistema económico que le rodea. Lo que no se enfatiza en el trabajo de Chayanov, pero que está presente en muchos trabajos antropológicos, es la forma en la cual la labor campesina se manifiesta de forma inseparable de sus saberes y, de hecho, ambos se materializan en el paisaje (Remmers, 1993). De tal manera que la economía campesina produce territorios campesinos con un carácter de clase distinto a los paisajes del agronegocio y la explotación minera.

El argumento básico neochayanoviano es que la unidad laboral familiar autorregulada, tal como existe en la agricultura campesina, funciona según una lógica interna (no capitalista), y por eso ha superado con creces todas las predicciones sobre su desaparición. En un estudio de la situación socioeconómica de pequeños productores de café en Puerto Rico (McCune *et al.*, 2019), se encontró que la antigua categoría de “campesinos medios”, bajo la presión del neoliberalismo y la crisis climática, se divide en un pequeño grupo que se convierte en capitalistas agrarios “medios” y un grupo más grande que entra en crisis económica (convirtiéndose en proletarios y probables emigrantes). En contraste, los agricultores de la “tercera vía”, que se centran en los bajos costos, los bajos insumos externos y el alto nivel de interacción interna entre los componentes de las explotaciones agrícolas y los procesos ecológicos, están encontrando redes de solidaridad horizontal (como las brigadas agroecológicas juveniles y los mercados de agricultores) para resistir mejor las condiciones climáticas y de austeridad de la “presión externa”.

Todos estos factores internos y externos de la economía campesina que interactúan entre sí, con relaciones de dependencia positiva y negativa o reciprocidad, convierten a la producción campesina en un sistema red con complejidad, densidad, flexibilidad y vulnerabilidad. En las conexiones de esa red se movilizan esfuerzos humanos individuales-familiares y de la naturaleza, a nivel de parcela y paisaje, así como motivaciones económicas, laborales, sociales y espirituales. Así, el análisis de la permanencia, del cambio y de la evolución de las propiedades emergentes de estos sistemas es clave para entender la producción campesina y aportar a la defensa de ésta como forma de vida y alternativa económica contrahegemónica.

LA RESILIENCIA DE LA ECONOMÍA CAMPESINA

Entre las propiedades emergentes que forman parte de la agroecología, hay una que ha perforado el *mainstream* de la cultura dominante científica y comunicativa: la resiliencia.

Una de las propiedades emergentes más discutidas es la resiliencia. La resiliencia “se refiere a la capacidad de las personas, los grupos y las comunidades para enfrentarse, sobreponerse y salir transformados ante las adversidades” (Forés y

Grané, 2008). La resiliencia está siendo referida en casi todos los medios de hoy en día, sin duda en relación a la percepción generalizada que el mundo está tocando umbrales y grandes transformaciones están comenzando.

Uno de los casos de resiliencia más significativos del mundo real consiste en la agricultura campesina, que no ha desaparecido a pesar de cinco siglos de desarrollo capitalista. Explicar la supervivencia de la agricultura campesina resulta importante para la agroecología y, como la tercera sección de este capítulo mostrará, esa narrativa de resiliencia se vincula con los estudios agrarios, la economía política y la descolonización de la ciencia.

Desde la perspectiva de las culturas no occidentales, la transición agroecológica podría referirse tanto a la praxis evolutiva (*evolutionary praxis*) de rotaciones y acahuales (la dinámica sin desterritorialización), que podría ser una transición (negativa) hacia una forma de vida más asociada con los programas asistencialistas y el abandono del campo (la dinámica de desterritorialización), o bien como la (positiva) recuperación de territorios, el recordar activo de los saberes y la construcción de autonomías (la dinámica de reterritorialización).

Para la agroecología científica, la transición a menudo se refiere a un *proceso de sustitución de una lógica por otra* (como lo ha teorizado Gliessman y colegas, 2007) e incluso, se refiere a la posibilidad de que los valores de la sustentabilidad lleguen a transformar la dinámica del capital agrario, como en el ejemplo de la prohibición de agrotóxicos y semillas transgénicas y las políticas de fomento a la agricultura familiar. Comparado con el sentido anterior, esta transición agroecológica tiene más del concepto occidental de revolución, sin embargo, está pensado desde la institucionalización de estos esfuerzos en programas públicos que en el peor de los casos podrían ser diseñados por el Banco Mundial o incluso las mismas transnacionales.

Por otro lado, hay pensadores que han invertido el concepto de la resiliencia para considerar la posibilidad de acercar dos campos de la ciencia: el comportamiento matemático de sistemas complejos, específicamente las *transiciones críticas*, y los estudios campesinos, específicamente en cuanto se relacionan con la *transición agroecológica* (Vandermeer & Perfecto, 2012; Ong & Liao, 2020). Considerando a la agricultura capitalista y a la agricultura campesina como dos polos de atracción, estos trabajos se expanden hacia una visión de cómo los factores económicos, sociales, políticos, culturales y tecnológicos producen histéresis, o la dependencia del estado de un sistema respecto a su propia historia, adentro de los sistemas agroalimenticios.

LAS TRANSICIONES CRÍTICAS EN SISTEMAS COMPLEJOS

La gestión de sistemas complejos y adaptables se ha convertido en un campo dinámico de la nueva teoría transdisciplinaria, especialmente en lo que respecta a los sistemas de apoyo a la vida de las actividades humanas, como la agricultura, en contextos ecológicos delicados. Los sistemas socioecológicos (Berkes y Folke, 1998), o los sistemas humanos y naturales acoplados (Liu *et al.*, 2007), se han convertido en un concepto central para permitir una mayor comprensión de las inter-

dependencias y las retroalimentaciones entre los sistemas sociales y ecológicos. Las contribuciones de la ecología de sistemas se aplican para comprender la compleja dinámica interna y la adaptabilidad de estos sistemas acoplados. Muchos de los conceptos que informan esos estudios de los sistemas se originan en la ecología, por dos razones: una, su énfasis en las cualidades que surgen de un conjunto de relaciones entre elementos, en lugar del enfoque reduccionista de los elementos en aislamiento; y dos, la creciente preocupación académica y popular por la relación entre la humanidad y la biósfera, que existe delicadamente en la superficie de la corteza terrestre (Lang *et al.*, 2009).

En los esfuerzos por comprender las cualidades intrínsecas de los sistemas socioecológicos, investigadores de varios ámbitos disciplinarios han abordado el concepto de resiliencia. El principio de resiliencia se deriva de la teoría de la ecología de sistemas (Holling, 1973) que sugería que en lugar de comunidades climáticas estáticas e invariables, los ecosistemas naturales podían evolucionar entre varios estados estables alternativos, con mecanismos de retroalimentación bióticos y abióticos que aceleraran o evitaran el cambio de sistema. Las perturbaciones comenzaron a considerarse parte integrante de la función del ecosistema, y la resiliencia como una capacidad emergente del sistema para absorber una cierta magnitud de choque y mantener las funciones clave del sistema antes de alcanzar un umbral crítico y pasar a un equilibrio estable alternativo con nuevas propiedades del sistema (Holling, 1973; Noy-Meir, 1975).

Para describir estados estables alternativos, Noy-Meir (1975) utilizó la analogía de un contenedor mecánico de bolas (figura 1). El estado estacionario original es estable a las fluctuaciones dentro de un cierto rango, pero un empuje demasiado fuerte en una dirección lo enviará sobre el *punto de giro* y hacia un nuevo estado estacionario. La principal preocupación, a la luz del cambio ambiental mundial, es que los ecosistemas serán empujados más allá de sus límites, hacia nuevos estados estables que proporcionen menos servicios ecológicos (Walker *et al.*, 2002).

El modelo de dos estados estables es una ilustración muy simple de un concepto clave en los estudios de resistencia: el umbral. El punto alto de la curva central en la figura 1 es el umbral, o punto de no retorno, para el sistema original. Los sistemas de resiliencia pueden absorber fuertes choques por debajo de este punto; un pequeño empujón por encima de él dará lugar a lo que podría ser un cambio irreversible y acelerado. Uno de los principales objetivos de la investigación sobre la resiliencia es identificar y caracterizar los umbrales de los sistemas, a fin de com-

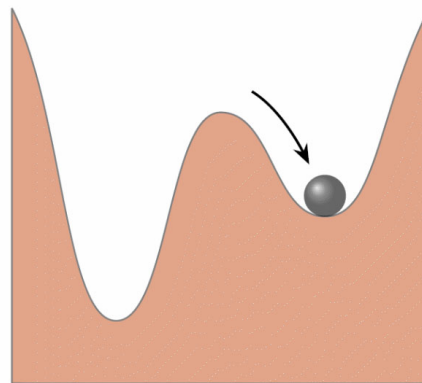


Figura 1: Un modelo físico de la situación de dos estados estables. Fuente: Modificado de Noy-Meir (1975).

prender qué hace que los sistemas sean capaces de absorber algunos choques sin cambiar su función general, qué hace que algunos cambios sean temporales y otros permanentes, y cómo desplazar los umbrales mediante adaptaciones del sistema. La dinámica social y ecológica en los estados alimentarios industriales puede ser muy diferente de la dinámica en los estados alimentarios tradicionales o soberanos. Los esfuerzos para promover la transición a un estado alimentario soberano deben comprender mejor las retroalimentaciones y limitaciones del estado alimentario industrial. Los modelos alternativos de estados, utilizados en la ecología de la restauración para centrarse en los estados reforzados internamente y en los umbrales de recuperación (Suding *et al.*, 2004), pueden ayudar a orientar las conversiones históricas a sistemas alimentarios soberanos.

LAS TRANSICIONES CRÍTICAS EN LA AGRICULTURA CAMPESINA: ESCALA DEL CAMPO

La ciencia de la ecología reconoce al cambio como un rasgo permanente de la naturaleza. La sucesión es la evolución del ecosistema en la cual las especies presentes se sustituyen por otras, en cuanto van cambiando las presiones competitivas a causa de cambios en la disponibilidad de luz, agua, cambios en la temperatura e interacciones entre las especies presentes. Mientras estos cambios se han visto durante décadas como procesos lentos, está emergiendo una literatura que examina los cambios repentinos, catastróficos y el comportamiento cuando los ecosistemas se acercan a umbrales. Las transiciones críticas, que implican la imposibilidad o extrema dificultad de revertir los cambios, se dan también en los agroecosistemas, aunque están mucho menos estudiadas.

En esta sección exploramos escenarios reales de transición crítica a nivel de campo y agroecosistema, donde el trabajo humano es un factor fundamental. Para comenzar, miremos el caso del cultivo comercial y de subsistencia de maíz en la región Fraylesca, Chiapas, en el sureste de México.

La región Fraylesca es una zona tropical cálida y seca que comprende los Valles Centrales de Chiapas. Su ciudad principal, Villaflores, se encuentra a unas dos horas en vehículo, al sur de la capital del estado, Tuxtla Gutiérrez, pero la región continúa otros 100 km al sureste. La Fraylesca debe su nombre a los monjes que habitaron la zona durante el periodo colonial temprano. Es una de las regiones de Chiapas con menor presencia de grupos de hablantes de lenguas indígenas, probablemente debido a la productividad de sus tierras y al consiguiente desplazamiento de la población indígena durante el periodo colonial. Durante los decenios de 1960 y 1970, la región de Fraylesca era conocida como el granero del sur de México, donde los suelos planos de los valles aluviales daban cosechas típicas de maíz de 5 a 8 toneladas métricas por hectárea. Las tecnologías de la revolución verde, introducidas mediante esfuerzos concentrados para modernizar los sistemas de cultivo de maíz en las tierras planas, subieron río arriba hacia las colinas, a medida que el crecimiento de la población y el acceso limitado a la tierra empujaban a las familias hacia arriba.

En las comunidades montañosas de la Fraylesca, las familias campesinas siembran tanto semillas de maíz compradas, como variedades nativas que han sido utilizadas por los agricultores locales durante generaciones. Hay una erosión gradual del policultivo milpa hacia el monocultivo maíz. De cada 10 familias, quizás 3 aún siembran semilla de calabaza revuelta con la semilla de maíz. Las áreas dedicadas a la siembra de raíces como yuca y camote, verduras y frutas anuales, como cebolla, tomate, chile, sandía, la caña de azúcar y otros cultivos, ha disminuido drásticamente a favor de un sistema de ganadería vacuna, que se mueve entre el bosque (en tiempos de crecimiento de maíz) y los campos de maíz (para alimentarse del rastrojo después de la cosecha). El binomio maíz-ganado se favorece tanto por la mercantilización de las relaciones del sector campesino con la sociedad más amplia, como por la erosión de saberes e inversión en trabajo en la esfera productiva. Sin embargo, este cambio paulatino no ocurre de forma aislada, sino en relación dialéctica con los demás factores biofísicos y socioculturales de la agricultura. En cuanto la relación ser humano-suelo, sostenemos la hipótesis siguiente: que están ocurriendo saltos y transiciones críticas a escala de parcela, con el movimiento entre milpa diversa y maíz en monocultivo. En la figura 2 se muestra la relación entre el uso de herbicidas —tanto los sistémicos como los de contacto— y la erosión del suelo. En nuestra herramienta conceptual, existen dos curvas para describir esta relación, una del policultivo y otra del monocultivo de maíz.

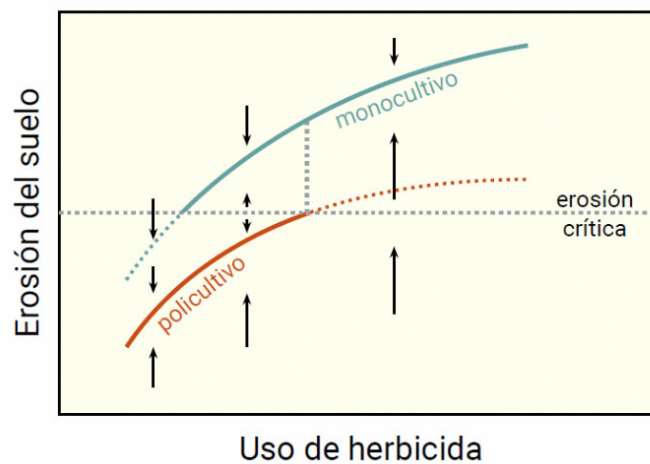


Figura 2: Transiciones críticas entre el monocultivo y la erosión en el cultivo del maíz en monocultivo y la milpa de policultivo, Región Fraylesca, Chiapas, México. Supuestos del modelo: 1) La erosión aumenta con el uso de herbicidas debido a la menor vegetación estabilizadora del suelo; 2) El policultivo reduce la erosión; 3) Los cultivos, aparte del maíz, se vuelven inviables cuando se alcanza un nivel crítico de erosión. Fuente: Elaboración propia.

Lógicamente el mayor uso de herbicidas atenta contra la diversidad vegetal asociada al cultivo de maíz, pero también limita las posibilidades de diversidad planeada, ya que los cultivos asociados al maíz en la milpa (yerba mora, epazo-

te, tomate, chile, calabaza, sandía, frijol, etc.) son por lo general más susceptibles a los efectos de los herbicidas que el mismo maíz. La observación del campo nos sugiere que al llegar a cierto nivel de aplicación de herbicidas, las y los agricultores simplemente ya no están produciendo en policultivo. Pero ahí hay dos factores que influyen sobre la erosión del suelo: el uso de herbicidas y la diversidad del cultivo. Una vez entrado en el sistema de maíz en monocultivo, donde ya faltan las distintas capas subterráneas de exploración radical que se dan en el policultivo, la erosión tiende a acelerarse, aun si se disminuye el uso de herbicidas. Es más, la tierra casajosa que emerge cuando la frágil capa de suelo fértil desaparece, no es propicia para la siembra de muchos cultivos; el maíz, sin embargo, puede funcionar por una década o más en esas condiciones, prácticamente como cultivo hidropónico, con altas aplicaciones de fertilizantes, aún después de que la necesidad de aplicar mucho herbicida disminuye. De esta manera, y bajo pleno manejo campesino, se establece un estado estable de maíz en monocultivo, difícilmente reversible debido al deterioro del suelo.

Por otro lado, ¿qué transición ocurre cuando se implementan los principios agroecológicos y las prácticas que de ellos derivan? Tomando como punto de partida un sistema de alta dependencia de herbicidas, baja agrobiodiversidad planeada y baja agrobiodiversidad asociada, se va incrementando la agrobiodiversidad funcional planeada. En términos prácticos, esto significaría recuperar la práctica de mezclar semilla de calabaza con la de maíz en la siembra de junio, así como la práctica de sembrar frijol entre surcos de maíz en la siembra de agosto. Tanto la calabaza, que corre por debajo de los tallos de maíz, sofocando malezas y conservando agua, como el frijol, que establece mutualismos con bacterias fijadoras de nitrógeno en el suelo, agregan factores de complejidad al sistema maíz y pueden dificultar el uso de herbicidas.

En muchos casos, la familia campesina tiene que decidir entre mantener el cultivo asociado o aplicar el herbicida. En cuanto se fortalece el policultivo, los beneficios del herbicida serán sustituidos por los del cultivo de asocio, particularmente en el caso de la calabaza, mientras que los impactos negativos del herbicida se dejan sentir con más nitidez. Si se llega a discontinuar el uso del herbicida, la relación entre la agrobiodiversidad planeada y la asociada queda transformada, con mucha más diversidad asociada por cada valor de diversidad planeada. A continuación podemos ver en la curva superior de la figura 3, que la agrobiodiversidad planeada puede disminuirse considerablemente antes de impactar cualitativamente a la agrobiodiversidad asociada. Siempre que no se recurra nuevamente a los herbicidas, un nuevo estado estable se irá estableciendo.

Estos ejercicios, a partir de las condiciones reales del campesinado fraylescano de Chiapas, aportan en dos sentidos a nuestra concepción de las transiciones críticas en la agroecología.

Primero, queda claro que la existencia de un campesinado con tierra no es garantía ni de la continuidad del manejo agroecológico tradicional ni de la reversibilidad de la incursión de la revolución verde y sus lógicas simplificadoras y mercantilizadoras. No es, en este caso, el desplazamiento físico del campesinado, sino su

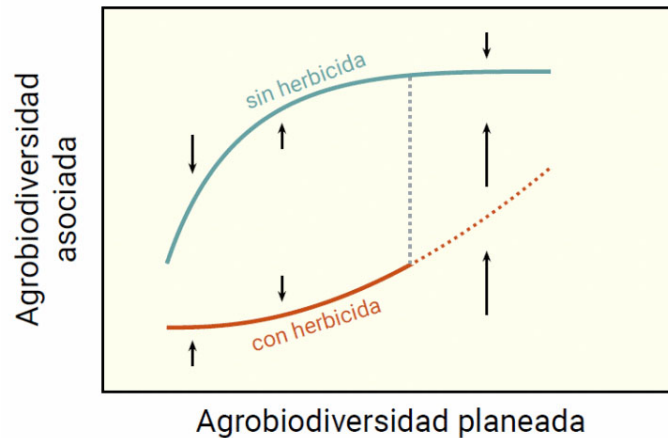


Figura 3: Transiciones críticas en la relación entre la biodiversidad planeada, el uso de herbicidas y la biodiversidad asociada. Supuestos del modelo: 1) La diversidad asociada aumenta con la agrobiodiversidad planeada; 2) El uso de herbicidas reduce la agrobiodiversidad asociada; 3) Cuando los agricultores alcanzan un nivel crítico de agrobiodiversidad planeada, se interrumpe el uso de herbicidas. Fuente: Elaboración propia.

desterritorialización a través de mecanismos de enajenación e instrumentalización, la manifestación del proceso sociocultural de descampesinización.

El segundo aporte del análisis va hacia cómo podemos visualizar las cascadas de transiciones socioagroecológicas a distintas escalas. En la producción de los alimentos más centrales de la dieta mesoamericana, las relaciones a escala de campo entre el suelo, las raíces, la conservación de cultivos y la incursión de los insumos externos, tienen causas y consecuencias que se dan a escalas mayores y menores. En principio, se puede concluir que las distintas escalas tienen funciones amortiguadoras entre sí, pero que a la vez las transiciones críticas en un nivel reducen la capacidad de amortiguación a otros niveles. Los balances campesinos, en los cuales se aplican saberes locales y trabajo para mantener el metabolismo socioecológico de la agricultura campesina a lo largo del tiempo, son los mecanismos fundamentales de amortiguamiento frente a las transiciones de múltiples escalas.

LAS TRANSICIONES CRÍTICAS EN LA AGRICULTURA CAMPESINA: ESCALA DE UNIDAD DOMÉSTICA

Esta sección se centra en la intensificación basada en el trabajo, un concepto profundizado por Van der Ploeg (2008). Argumentaremos que la intensificación basada en el trabajo representa una vía hacia la recampesinización y las transiciones agroecológicas. Según la escala y el contexto, estos cambios de sistema pueden comportarse como transiciones críticas, mostrando la presencia de umbrales y retroalimentaciones.



Figura 4: Las estrategias campesinas. Fuente: Van der Ploeg (2008).

Para abordar el concepto de la intensificación basada en el trabajo, comenzamos con dos conceptos distintos del capital. Para Marx, el capital es una relación social, según la cual una clase social se apropia del trabajo enajenado y acumulado de otra clase social. Para que el capitalismo pueda funcionar, es preciso que quienes trabajan no sean dueños del producto de su trabajo. El dueño convierte los productos del trabajo en mercancías, las cuales vende a precios por encima del costo de la producción, es decir, el costo acumulado de las materias primas provenientes de la naturaleza y de la mano de obra proveniente de personas que venden su trabajo por un salario. En el tiempo, el proceso de reinversión capitalista en los medios de producción se convierte en el poder del trabajo muerto (del pasado) sobre el trabajo vivo (del presente) —ambos enajenados a quien realiza este trabajo. El comportamiento del capital tiene muchas dimensiones, pero lo fundamental es que asigna un valor de cambio a todas las cosas, estableciendo de esa manera una ley de valor capitalista que poco a poco va extendiéndose a todas las interacciones sociales, humanas y socioecológicas.

Por otro lado, existe un concepto más sencillo del capital, que es entenderlo como los medios de producción y reproducción social. El capital sigue siendo trabajo del pasado, pero no es necesariamente enajenado del trabajador o trabajadora. En este caso, el capital puede ser infraestructura, herramientas, tierra, casa y otros elementos primordiales de la (re)producción. Capital, en este significado, es algo que puede ser gestionado —por un individuo, una familia, una comunidad o colectivo, además de usurpado por la clase capitalista. La autogestión del capital es, sobre todo, la acumulación del trabajo propio en el tiempo. Cada vez que se construye una herramienta, un método o una práctica que mejora las condiciones para el trabajo propio, existe una acumulación. En la agricultura campesina, las semillas seccionadas son resultado del trabajo del pasado —y hacen más productivo y/o menos

riesgoso el trabajo del presente; lo mismo con la rotación de cultivo, la crianza animal, los arados, la agroforestería— representan la autogestión del trabajo, que en el tiempo se convierte en capital interno del sistema.

Para explicar esa misma idea, Van der Ploeg (2008) hace referencia a los factores históricamente garantizados de producción. El mismo campesinado garantiza -históricamente- la continuidad de la atención a estas formas de capital, produciendo mayor autonomía de la familia campesina frente al mercado. Van der Ploeg *et al.* (2014) analizan los circuitos no monetarios de valor en los cuales trabajan las familias campesinas en China:

El mayor valor de la base de recursos a menudo se trata como un incremento en el capital. Mejorar la tierra, luego, se presenta como una parte de la formación del capital. Como tal, esta interpretación no está equivocada: el valor del capital agroecológico disponible se incrementa, así como el valor del capital económico disponible. Sin embargo, es importante especificar que no estamos hablando del capital en el sentido marxista. No hay capital aquí que necesita producir plusvalía para acumular para entonces invertirse nuevamente como capital. Se trata de otros valores. El lodo, una vez sacado del canal y subido al camión, adquiere un valor como abono. Una vez aplicado, este abono incrementa la fertilidad, y como consecuencia, el valor de la tierra. Esto permite a otros valores emerger: una mejor cosecha y mayor bienestar para la familia campesina. El lodo se convierte en fertilizante. Este fertilizante se convierte en tierra fértil que, a su vez, se convierte en mayores rendimientos (y/o formas más intensivas de cultivación). Estas conversiones son no monetarias; no pasan por los mercados. Dependen del trabajo. No son inversiones de capital —son inversiones de trabajo. (Traducción nuestra.)

Estos autores identifican varios mecanismos de la intensificación —entendida como la producción de mayor valor por unidad de tierra— basada en el trabajo y no en la tecnología. El cambio en el uso de la tierra hacia cultivos de mayor valor y mayor exigencia de mano de obra —como son las hortalizas— representa un mecanismo de intensificación a base de mayor cantidad y calidad del trabajo. El manejo del paisaje —como la reforestación, cuidado de ríos y mantenimiento de corredores migratorios— también representa una forma de intensificación basada en el trabajo.

Aquí expresamos esa autonomía relativa como una relación entre el capital externo (en forma de crédito, maquinaria, semillas y químicos adquiridos en mercados vinculados con cadenas transnacionales de valor) y el capital interno, que definimos como los factores de producción que corresponden a trabajo previo y propio, que no han salido del sistema en forma de mercancía (figura 5). El capital interno está relacionado tanto con la acumulación de trabajo previo como con los saberes locales/tradicionales/ancestrales/empíricos.

La intensificación basada en la mano de obra no se ocupa principalmente de los ingresos laborales o de la productividad del trabajo, sino que se ocupa profundamente de la producción por unidad de tierra, la expansión del nivel absoluto de ingresos netos. La “intensificación basada en la mano de obra por un salario más bajo” tiende a ocurrir cuando hay una falta de oportunidades de empleo fuera de

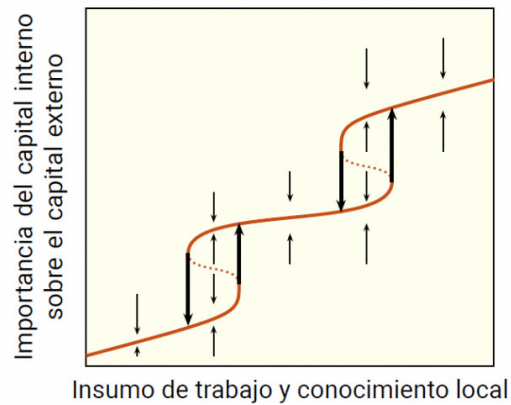


Figura 5: Transiciones críticas que implican la relación entre el insumo total de trabajo y saber local (x) y la relación entre capital interno y capital externo (y) en las economías agrícolas familiares. La curva roja sólida más baja representa a las unidades agrícolas con un insumo de trabajo tan bajo que o bien están fallando en su sistema productivo, en su camino hacia la descampesinización (proletarización o migración), o bien están apenas comenzando nuevos agricultores. A medida que aumenta la intensidad del trabajo, el capital interno o CI (semillas, conocimientos, herramientas y equipos agrícolas existentes, factores históricamente garantizados como la fertilidad de la tierra y las razas de animales) emerge como un factor de producción y la parcela puede llegar a ser rentable al ganar más de lo que debe pagar en concepto de alquiler, costos de los insumos, deuda o impuestos (representado en la figura como un salto hacia arriba a la segunda línea sólida). La curva roja intermedia representa a las granjas comerciales convencionales, las cuales, aunque ganan ingresos más allá de sus costos de producción, tienen el impacto económico neto de enviar más valor a la economía especulativa de lo que retienen localmente, debido a su significativa dependencia del capital externo (CE). Con una considerable intensidad de mano de obra adicional, el CI desplaza efectivamente al CE, ya que las interacciones entre los componentes de los agroecosistemas crean circuitos de retroalimentación positiva y los principios sistémicos emergentes mejoran significativamente la proporción de reproducción de capital interno por unidad de trabajo. Una vez alcanzado este punto, la intensidad de la mano de obra puede desviarse sin afectar significativamente la relación CI/CE. Dentro de un rango intermedio, las granjas agroecológicas pueden tener menos insumos de mano de obra intensiva que las granjas convencionales, mientras ganan más. Sin embargo, pueden producirse transiciones críticas hacia abajo cuando, por ejemplo, se adopta una costosa tecnología externa que ahorra mano de obra, como un gran sistema de riego, o cuando se adopta un gran modelo de préstamo o de agricultura por contrato, lo que conduce a una agricultura más convencional, a una mayor proporción de valor extraído como pagos al capital y, potencialmente, a un fracaso catastrófico de la explotación (volviendo así a la esquina inferior izquierda de la figura). Fuente: Elaboración propia.

la granja o salarios deprimidos, falta de acceso a tierra adicional, y/o pequeñas granjas. La introducción de la irrigación en pequeña escala, por ejemplo, puede, de hecho, reducir los ingresos por día de trabajo, e incluso la productividad de ca-

da unidad de trabajo, pero es probable que aumente los ingresos por superficie de tierra de la empresa familiar de trabajo.

El aumento de la agrobiodiversidad planeada es una forma de intensificación basada en la mano de obra y en el conocimiento campesino. En las transiciones de la agricultura familiar convencional con uso intensivo de productos químicos a la agricultura agroecológica, la introducción de técnicas como el acolchado, los cultivos intercalados, la integración de los árboles con los cultivos, los estanques de peces, la tracción animal, el uso de abonos, el compostaje, la lombricultura, los pequeños huertos medicinales y los cultivos en hileras irrigados, suelen ser inversiones que requieren mucha mano de obra. Estas prácticas aumentan la agrobiodiversidad planeada y también inducen mayores niveles de biodiversidad asociada, con beneficios a largo plazo para la fertilidad del suelo, el ciclo de los nutrientes y la autorregulación ecológica. Sin embargo, a corto plazo, esas prácticas no aumentan los ingresos recibidos por unidad de mano de obra empleada. Si bien es probable que disminuya la productividad del trabajo (calculada como producto agrícola anual total/número total de días de trabajo, incluyendo a todos los trabajadores), estas técnicas sí aumentan los ingresos agrícolas totales por unidad de superficie de tierra, de esta manera, crean la posibilidad de que la agricultura pueda nuevamente absorber una parte importante de la fuerza laboral y le dan a ésta un nuevo significado.

LA ECONOMÍA DE LA AGROECOLOGÍA Y LA CUESTIÓN CAMPESINA EN LA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA

En otros trabajos nos hemos referido a la dimensión cognitiva de la transición agroecológica en cuanto proceso sociocultural (McCune *et al.*, 2017). Como todo proceso de aprendizaje, la transición hacia formas agroecológicas de producción, distribución y consumo de alimentos, está mediada por elementos de la cultura que crean retroalimentaciones positivas, acelerando el cambio a nivel de territorio. La ausencia de algunos de estos mediadores prolonga e incluso frena los procesos de transición. Ejemplos de mediadores territoriales en la transición agroecológica incluyen a las organizaciones sociales o comunitarias del campo, su acceso a la tierra, sus métodos de intercambio de saberes y prácticas y la eficacia de éstas para crear ejemplos claros de éxito, las personas facilitadoras, los espacios de intercambio de bienes, usos y saberes, las políticas que protegen al campesinado de la criminalización, la represión y el acaparamiento de sus recursos productivos, entre otros. Cada mediador se activa en cuanto más se interactúa con otro; los casos excepcionales de transición agroecológica a nivel mundial reúnen estos y otros factores.

Desde los territorios campesinos es difícil construir abstracciones acerca de las transiciones agroecológicas; esto porque el territorio es un proceso cultural, en el cual el sujeto y el contexto socioambiental se intercambian material e inmaterialmente, haciendo de forma dialéctica la vida en el tiempo. Los territorios campesinos, donde la cultura es trabajo y el trabajo es cultura, producen saberes, saberha-

ceres y formas de aprendizaje que no se acomodan en las categorías occidentales modernas de sujeto, objeto y acción unilateral. Al contrario, co-producen, como en las tradiciones orales, los corridos y las obras mágico-realistas de autores latinoamericanos, realidades y expectativas sobre esas realidades, donde ambas se interrelacionan, se buscan y se unen, de maneras que suelen frustrar el pensamiento abstracto. El principio de la diversidad infinita de experiencias e interpretaciones choca con el modernismo universalizador.

Es necesario explorar los acercamientos económicos a la agroecología, no solamente porque nos inscribimos en una línea de pensamiento que aboga a la transición de los sistemas agroalimentarios hacia ella, sino porque vivimos bajo una hegemonía del pensamiento economicista, donde el poder asimétrico se multiplica y ampara en racionalidades basadas en una concepción utilitaria del valor.

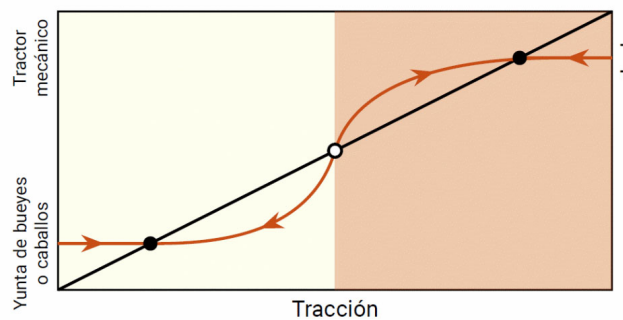


Figura 6: Visualizando la estabilidad de distintos síndromes de agricultura. Todo impulsor de cambio, según su ubicación en el eje x , contribuye a la atracción del sistema económico hacia el polo de la economía de la ley de valor capitalista o hacia el polo de la economía de valores de uso (economía campesina). Fuente: Modificado de Ong & Liao, 2020.

Más allá de los cálculos económicos convencionales, la transición agroecológica depende de complejos sistemas de retroalimentaciones en el mundo real –algunas guiadas por la ley de valor capitalista, otras por el cambio climático y otras por los mecanismos de movilización social e institucionalización de luchas. La transición agroecológica es un proceso con muchas caras y que ocurre en múltiples niveles y escalas. Aunque pequeños agricultores y familias campesinas tienen un rol protagónico, hay otros actores claves, como trabajadores agrícolas, consumidores, trabajadores urbanos, tomadores de decisión política, académicos y otros aliados.

Los últimos años han sido escenario de una serie de explosiones sociales a lo largo del planeta. En todo continente, los gobernantes tuvieron que enfrentar mares humanos que llenaron las calles de las capitales, exigiendo el fin de políticas económicas privatizadoras y la precarización, que han favorecido la concentración de riqueza en cada vez menos manos. También hubo señales de que se van encruceciendo las discrepancias políticas adentro de –y entre– países, con el crecimiento sostenido de campañas y movimientos de corte fascista en muchos lados del orbe y la proliferación de provocaciones imperialistas beligerantes e intentos de cambio de régimen, dando presagios de guerras mayores. Por otro lado, el año 2020

fue el más caloroso de la historia recordada, según la NASA (2021), indicando que el cambio climático está marchando a un ritmo muchas veces más rápido del que las proyecciones científicas más pesimistas previeron. La mayor conectividad de la población durante la pandemia de COVID-19, los niveles inéditos de concentración transnacional del capital y la hostilidad hacia las alternativas no capitalistas, indican que las transformaciones estructurales serán catastróficas y no graduales (figura 7).

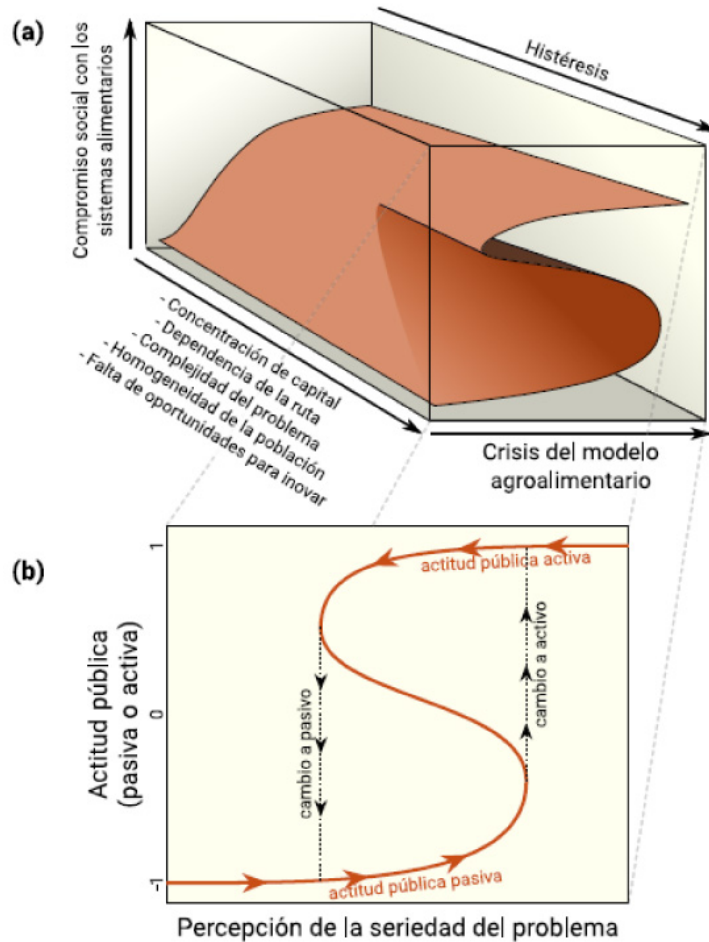


Figura 7: Visualización de la relación entre la crisis del modelo agroalimentario (x), el nivel de movilización y organicidad social (y) y factores de resistencia del sistema al cambio (z). En (a): mientras más concentrado el capital, mayor histéresis tecnológica y social, mayor complejidad del sistema, más conectada la población y menos tolerancia hacia las alternativas socioeconómicas, más traumático puede ser el eventual cambio estructural. En (b): se visualiza la relación entre la profundidad de la crisis y la movilización popular. Hasta que se llegue a un umbral, el público se mantiene pasivo, pero una vez alcanzado, se mantiene activo hasta que la crisis se resuelva. Fuente: Elaboración propia.

La transformación estructural hacia los sistemas agroecológicos de producción y reproducción social no es posible sin reconocer la importancia de la economía familiar, campesina, comunitaria, cooperativa y autogestionaria. Hablar de la economía familiar no es ceder a los factores de atomización e individualismo que plantea la teoría económica neoclásica, sino romper con la tradición eurocéntrica de utilitarismo y con la apología intelectual del monopolio. Aquella economía que coexiste con la economía capitalista y que, si bien es subordinada políticamente, muestra la capacidad de florecer en condiciones y a escalas donde fracasan las economías capitalistas. Es también la economía que produce mayor empleo, depende en la mayoría de los casos de los saberes y las labores de las mujeres, y se basa en el cuidado de la vida. Es esta economía la que ha mostrado la vocación de trabajar con la naturaleza en vez de intentar dominarla.

Hace más de veinte años que La Vía Campesina, en su Primera Conferencia Internacional, celebrada en Tlaxcala, México, declaró que las organizaciones campesinas, indígenas, de sin tierra y de trabajadores del campo, de cuatro continentes, luchan por un ideal, que definió como la soberanía alimentaria. En vez del concepto más institucionalizado de la seguridad alimentaria, la cual no menciona de dónde vienen los alimentos ni cómo se producen, la soberanía alimentaria es explícita en su reivindicación del derecho de producir, procesar, distribuir y consumir alimentos según las costumbres y culturas de cada pueblo, un derecho que se antepone a los “derechos” del capital de expandirse dentro de los sistemas agroalimentarios.

Este marco ha sido capaz de recoger profundas críticas al modelo de libre comercio –desde las acciones callejeras en contra de la Organización Mundial de Comercio hasta las concepciones emergentes del Buen Vivir– a la vez que avanza concretamente en la construcción de nuevos paradigmas de derechos campesinos, derechos a la alimentación, derechos de la naturaleza, feminismos y economías solidarias. Sin embargo, más allá de su gran valor como concepto movilizador, en el sentido gramsciano de ser un *territorio inmaterial* (Fernandes, 1998), la soberanía alimentaria incluso tiene relevancia dentro de las luchas alrededor de los *territorios materiales* que hoy forman el substrato de la remergencia de discursos políticos de odio frente a la debacle neoliberal. Al fondo de las migraciones, los tribalismos y la ansiedad hacia el futuro, que marcan la política nacional en el mundo entero, están los despojos y privatizaciones del territorio, agua, semilla, costa, bosque y mar. La magnitud de la crisis climática y la asociada incapacidad de regularse del sistema capitalista en su fase neoliberal, financiera y parasitaria, sin provocar estallamientos, señalan que la humanidad está entrando en un periodo histórico de mayor injusticia, hasta que se transite hacia una economía de trabajo y no de capital.

REFERENCIAS

- Altieri, M.A. (1983). *Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture*. University of California, Berkeley, Division of Biological Control.
- Anderson, C.R., Bruil, J., Chappell, M.J., Kiss, C., & Pimbert, M.P. (2019). From Transition to Domains of Transformation: Getting to Sustainable and Just Food Systems through Agroecology. *Sustainability*, 11, 5272.
- Barrios, E., Gemmill-Herren, B., Bicksler, A., Siliprandi, E., Brathwaite, R., Moller, S., Battello, C. & Tittonell, P. (2020). The 10 Elements of Agroecology: enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives. *Ecosystems and People*, 16(1), 230–247.
- Berkes, F. & Folke, C., (1998). Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. In: F. Berkes & C. Folke (eds.), *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience* (pp.4–25). Cambridge University Press.
- Bernstein, H. (2009). V.I. Lenin and A.V. Chayanov: looking back, looking forward. *The Journal of Peasant Studies*, 36(1), 55–81.
- Biovision (2019). *The Agroecology Criteria Tool (ACT) methodology*. Disponible en el sitio: <https://www.agroecology-pool.org/methodology/>
- Calle-Collado, Á., Gallar, D. y Candón, J. (2013). Agroecología política: La transición social hacia sistemas agroalimentarios sustentables. *Revista de Economía Crítica* 16, 244–277.
- Cernansky, R. (2018, 20 November). We don't have enough organic farms. Why not? *National Geographic*. Disponible en línea: <https://www.nationalgeographic.com/environment/future-of-food/organic-farming-crops-consumers/>
- CIDSE (Coopération Internationale por le Développement et la Solidarité) (2018). *The principles of agroecology: towards just, resilient and sustainable food systems*. Disponible en línea: <https://www.cidse.org/wp-content/uploads/2018/04/EN.The.Principles.of.Agroecology.CIDSE.2018.pdf>
- Chayanov, A. (1966). *The Theory of Peasant Economy*. Homewood: Richard D. Irwin, Inc.
- Chayanov, A. (1986). On the theory of non-capitalist economic systems. In: *The theory of peasant economy* (pp. 1–28). Madison: University of Wisconsin Press.
- De Janvry, A., Fafchamps, M. & Sadoulet, E. (1991). *Peasant household behavior with missing markets: some paradoxes explained* (Working Paper No. 578). Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Berkeley.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2019). *TAPE Tool for Agroecology Performance Evaluation 2019 – Process of development and guidelines for application. Test version*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fernandes, B.M. (1998). Questões teórico-metodológicas da pesquisa geográfica em assentamentos de reforma agrária. *Boletim Paulista de Geografia*, 75, 83–130.
- Forés, A. y Grané, J. (2008). *La resiliencia*. Plataforma.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoef, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C. & Poincelot, R. (2003). Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), 99–118.
- Giraldo, O.F. & Rosset, P.M. (2018). Agroecology as a territory in dispute: Between institutionality and social movements. *The Journal of Peasant Studies*, 45(3), 545–564.
- Gliessman, S.R. (1998). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press.

- Gliessman, S.R., Rosado-May, F.J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V.E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C. & Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista Ecosistemas*, 16(1).
- HLPE (High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition) (2019). *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition* (HLPE report 14). Roma: Committee on World Food Security. Retrieved from: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-14_EN.pdf
- Holling, C.S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1–23.
- Holt Giménez, E. & Shattuck, A. (2011). Food crises, food regimes and food movements: rumblings of reform or tides of transformation? *The Journal of Peasant Studies*, 38(1), 109–144.
- IPES-Food (International Panel of Experts on Sustainable Food Systems) (2018). *Breaking away from industrial food and farming systems. Seven case studies of agroecological transition*. http://www.ipes-food.org/_img/upload/files/CS2_web.pdf
- Jansen, K. (2015). The debate on food sovereignty theory: agrarian capitalism, dispossession and agroecology. *Journal of Peasant Studies*, 42(1), 213–232.
- Lang, T., Barling, D. & Caraher, M. (2009). *Food policy: integrating health, environment and society*. Oxford University Press.
- Lenin, V.I. (1961) [1901]. *The Agrarian Question and the “Critics of Marx”*. Moscow: Foreign Languages Publishing House.
- Lenin, V.I. (1965) [1920]. Preliminary Draft Thesis on the Agrarian Question for the Second Congress of the Communist International. In: *Collected Works* (Vol. 31, pp.152–164), 4th English Edition. Moscow: Progress Publishers.
- Levidow, L., Pimbert, M. & Vanloqueren, G. (2014). Agroecological research: conforming–or transforming the dominant agro-food regime? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(10), 1127–1155.
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S.R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A.N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C.L., Schneider, S.H. & Taylor, W.W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 317(5844), 1513–1516.
- Marx, K. y Engels, F. (2015) [1848]. *El Manifiesto Comunista*. Madrid: Ediciones Akal.
- McCune, N., Rosset, P.M., Salazar, T.C., Saldívar Moreno, A. & Morales, H. (2017). Mediated territoriality: Rural workers and the efforts to scale out agroecology in Nicaragua. *The Journal of Peasant Studies*, 44(2), 354–376.
- McCune, N., Perfecto, I., Avilés-Vázquez, K., Vázquez-Negrón, J. & Vandermeer, J. (2019). Peasant balances and agroecological scaling in Puerto Rican coffee farming. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(7-8), 810–826.
- Méndez, V.E., Bacon, C.M. & Cohen, R. (2013). Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(1), 3–18.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration) (2021, enero 14). *2020 Tied for Warmest Year on Record, NASA Analysis Shows*. <https://www.nasa.gov/press-release/2020-tied-for-warmest-year-on-record-nasa-analysis-shows>
- Noy-Meir, I. (1975). Stability of grazing systems: An application of predator-prey graphs. *Journal of Ecology*, 63(2), 459–481.

- Ong, W. & Liao, W. (2020). Agroecological Transitions: A Mathematical Perspective on a Transdisciplinary Problem. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 91 <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00091>
- Petersen, P., Silveira, L., Bianconi-Fernandes, G., & Gomes de Almeida, S. (2020). *Lume: A method for the economic-ecological evaluation of agroecosystems*. Coventry: Centre for Agroecology, Water and Resilience.
- Remmers, G.G.A. (1993). Agricultura tradicional y agricultura ecológica: vecinos distantes. *Agricultura y Sociedad*, (66), 201–220.
- Schejtman, A. (1980). Economía campesina: lógica interna, articulación y persistencia. *Revista de la CEPAL*, 11, 121–140.
- Schwab, K., & Malleret, T. (2020). *COVID-19: The great reset*. Geneva: World Economic Forum.
- Suding, K., Gross, K.L. & Houseman, G.R. (2004). Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(1), 46–53.
- Vandermeer, J.H. & Perfecto, I. (2012). Syndromes of production in agriculture: Prospects for social-ecological regime change. *Ecology and Society*, 17(4), 39.
- Van der Ploeg, J. (2008). *The New Peasantries: Struggles for Autonomy and Sustainability in an Era of Empire and Globalization*. Sterling: Earthscan.
- Van der Ploeg, J.D., Barjolle, D., Bruil, J., Brunori, G., Madureira, L.M.C., Dessein, J., Drag, Z., Fink-Kessler, A., Gasselin, P., de Molina, M.G., Gorchach, K., Jürgens, K., Kinsella, J., Kirwan, J., Knickel, K., Lucas, V., Marsden, T., Maye, D., Migliorini, P., ... Wezel, A. (2019). The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. *Journal of Rural Studies*, 71, 46–61.
- Van der Ploeg, J.D., Ye, J., Wu, H. & Wang, C. (2014). Peasant-managed agricultural growth in China: mechanisms of labour-driven intensification. *International Journal of Sociology of Agriculture and Food*, 21(1), 155–171.
- Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G.S., Janssen, M., Lebel, L., Norberg, J., Peterson, G.D. & Pritchard, R. (2002). Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology*, 6(1), 14–30.
- Wolf, E. R. (1969). *Las luchas campesinas del siglo XX*. Siglo XXI Editores.

AGRICULTURA, BIODIVERSIDAD Y DIVERSIDAD CULTURAL EN PAISAJES CAMPESINOS: UNA RELACIÓN DE MUTUA DETERMINACIÓN

*Cecilia González González^{1,3}, Ana L. Urrutia Cárdenas¹, Cristina Alonso-Fernández^{1,6},
Emilio Mora Van Cauwelaert^{1,4}, Lorena Castro Campero^{1,2}, Luis Guillermo García Jácome¹,
Irene Ramos Pérez^{1,5}, Blanca Hernández Hernández¹ y Mariana Benítez^{1*}*

¹ Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología,
Universidad Nacional Autónoma de México.

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴ Posgrado en Ciencias Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México.

⁵ Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

⁶ Posgrado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS: Agradecemos la colaboración y apoyo sostenidos de Alexandre Beau-
pré, así como de los campesinos y campesinas de Zaachila, Oaxaca, quienes nos han permi-
tido conocer su agricultura y nos han abierto las puertas de su comunidad. Agradecemos
los comentarios y retroalimentación de los participantes en la Mesa de Sistemas Complejos
y Agroecología (Primer Congreso Mexicano de Agroecología, San Cristóbal de las Casas,
2019) y la valiosa retroalimentación de la revisora de este texto..

FINANCIAMIENTO: Proyecto DGAPA-UNAM-PAPIIT (IN207819).

1. PUNTO DE PARTIDA

Este trabajo parte de la intersección entre dos grandes problemas actuales: la crisis
de pérdida tanto de la biodiversidad como de la diversidad cultural, y la incapaci-
dad de alimentar de forma sustentable y justa a la población humana. Ambos
problemas tienen raíces en un modo de producción capitalista que prioriza la ge-
neración de ganancia por encima de la soberanía alimentaria¹ y de la conservación

* mbenitez@ieciologia.unam.mx

¹ Por soberanía alimentaria nos referimos al derecho de los pueblos a controlar sus sistemas ali-
mentarios, tanto a nivel regional como nacional, incluyendo los mercados, los recursos naturales, la
cultura culinaria y los modos de producción. Para ello, promueve prácticas agroecológicas de produc-
ción, las cuales buscan integrar los conocimientos local y tradicional junto con el conocimiento científico
(ecológico, agronómico, etc.), con el fin de incrementar la producción de alimentos y al mismo tiempo
sostener una vida rural digna, conservar las diversidades genética y cultural y cuidar la fertilidad de
los suelos y la biodiversidad (Chapell *et al.*, 2013; La Vía Campesina, 2003).

ambiental, ganancia que obtiene a través de la explotación humana y de los ecosistemas, y del acaparamiento de las tierras (León Hernández, 2011; Rosset y Torres, 2016). El abordaje de estos problemas implica la reivindicación de derechos humanos tan fundamentales como el derecho a una alimentación adecuada, el derecho a la identidad cultural y el derecho a un medio ambiente sano (Altieri y Toledo, 2011; CEMDA, 2017; Claeys & Edelman, 2019), mismos que han sido sistemáticamente violentados en México, sobre todo con relación a los pueblos indígenas y campesinos (CEMDA, 2014). Sin embargo, estos problemas se han abordado mayormente de manera separada, llevando a veces a que los esfuerzos para asegurar la satisfacción de las necesidades alimenticias de la población se contrapongan a las metas de conservación de biodiversidad,² y viceversa, haciendo parecer que son actividades incompatibles (Ojima *et al.*, 1994; Lambin *et al.*, 2000; Angelsen, 2010; Burney *et al.*, 2010).

En contraste con esta tendencia, consideramos esencial reconocer que ambos problemas son altamente interdependientes. Acorde con ello, desde la agroecología se plantea que los modos de producción y consumo humano deben ser cambiados conjuntamente, promoviendo manejos ecológicos a través de formas colectivas de acción social (Sevilla & Woodgate, 2013). Esto plantea el reto de identificar los factores e interacciones concretas que median la relación entre la actividad agrícola y la reproducción de la biodiversidad y la diversidad cultural. Existen numerosos trabajos que durante los últimos años han permitido identificar el papel de la vegetación nativa y la biodiversidad sobre distintos aspectos de los sistemas agroalimentarios, por ejemplo, sobre la incidencia de plagas o la productividad de los cultivos, la polinización y la calidad de las dietas (Burel, 1989; Chust *et al.*, 2003; Franklin & Lindenmayer, 2009; Avelino *et al.*, 2012; Poveda *et al.*, 2012; Ickowitz *et al.*, 2014; Connelly *et al.*, 2015; Karp *et al.*, 2018; Gallé *et al.*, 2019; Reis Madeiros *et al.*, 2019). En otras palabras, se han estudiado bastante los efectos de la biodiversidad sobre la agricultura. En contraste, más allá de los estudios en torno a la transformación de la cobertura vegetal (Saunders *et al.*, 1991; Turner *et al.*, 1993; Trejo y Dirzo, 2000; Lambin *et al.*, 2000), se sabe poco de los efectos de la agricultura sobre la biodiversidad. A pesar de que se ha reconocido que diferentes formas de agricultura pueden tener distintos efectos sobre la biodiversidad (Moguel y Toledo, 1999; Perfecto *et al.*, 2009), éstos han sido mucho menos documentados y entendidos, lo cual ha llevado frecuentemente a discusiones simplificadas de esta interacción (Kremen, 2015; Bennet, 2017; Ortega-Álvarez *et al.*, 2018). Menor aún es la evidencia que existe respecto a las relaciones que involucran a la diversidad cultural, la cual ha surgido y continúa recreándose en íntima relación y mutua determinación con los sistemas agroalimentarios y la biodiversidad (Boege, 2008; Toledo y Barrera-Bassols, 2008; Lyver *et al.*, 2019) (figura 1).

A continuación presentamos una síntesis de nuestra aproximación, así como algunos de los resultados obtenidos y propuestas, ante la necesidad de entender los

² Por biodiversidad nos referimos a la suma de las distintas formas de vida en varios niveles de organización: intra e interespecífica, variedad de ecosistemas y variación total a nivel de paisaje (Gepts *et al.*, 2012 p. 5).

factores e interacciones concretas que median la relación entre la actividad agrícola y la reproducción de la biodiversidad y la diversidad cultural en regiones de agricultura campesina en México, es decir, en lugares donde cada familia maneja pequeñas extensiones de tierra, al menos en parte para autoconsumo, y donde utilizan combinaciones de tracción mecánica y animal, abono y fertilizantes inorgánicos, y donde siembran generalmente variedades nativas (Bellon *et al.*, 2018).

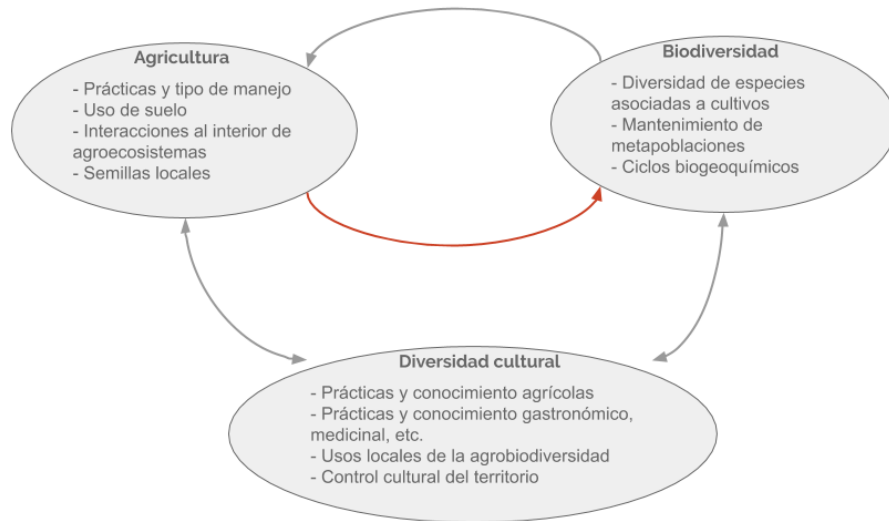


Figura 1: La biodiversidad, la diversidad cultural y la agricultura se determinan mutuamente en procesos que es necesario comprender para abordar la conservación de la diversidad biológica y cultural al mismo tiempo que se produce alimento de manera sustentable. Nuestra investigación y el presente capítulo se enfocan en entender los efectos de la agricultura sobre la biodiversidad (flecha roja).

2. EL PAISAJE AGRÍCOLA COMO ESCALA DE TRABAJO

El paisaje puede entenderse como un sistema socioecológico complejo que comprende un mosaico dinámico de usos de suelo y vegetación (Parrott y Meyer, 2012). Hemos adoptado la escala del paisaje como referente para estudiar la relación entre las actividades agrícolas y la biodiversidad porque aquí se manifiestan de forma clara sus interacciones (Ramos, 2020). No obstante, los procesos que ocurren en los paisajes no pueden desligarse de los que ocurren en otras escalas socioecológicas relevantes, como las parcelas individuales, los ejidos, las cuencas o los municipios. Los paisajes pueden caracterizarse a través de mapas que revelan el tipo y distribución de los usos de suelo y vegetación, y también a través de métricas que nos permiten cuantificar o evaluar aspectos como su permeabilidad, fragmentación, cantidad de hábitat o conectividad, entre otras propiedades (Turner, 1990; Wu, 2004; Zhang y Li, 2013; Teng *et al.*, 2016; Urrutia *et al.*, 2020). Además, es po-

sible caracterizar el tipo de manejo agrícola y las diversidades biológica y cultural en los paisajes, lo cual resulta indispensable para diseñar estrategias integrales para abordar las aparentes contradicciones entre la producción de alimentos y la conservación de la biodiversidad (Fahrig *et al.*, 2011; Mora Van Cauwelaert, 2017; González González *et al.*, 2020; Ramos, 2020).

La importancia de la agricultura se manifiesta de forma más clara cuando notamos su ubicuidad en los paisajes del mundo. Ésta ocupa el 37% de la superficie terrestre a nivel global y el 25% a nivel nacional (Sánchez Colón *et al.*, 2009; Rosete-Vergés *et al.*, 2014; FAO, 2016). Es en muchos sitios la principal causa de deforestación y transformación de bosques continuos en fragmentos rodeados de una *matriz agrícola*, es decir, de un conjunto de parches de diferentes tamaños y con diferentes usos y manejos, principalmente agrícolas (Myers *et al.*, 2000; Perfecto *et al.*, 2009; Canale *et al.*, 2012; Sloan *et al.*, 2014; Tapia-Armijos *et al.*, 2015). Así, la matriz agrícola es el espacio físico donde pueden coexistir la producción agrícola, las formas de vida campesinas y la conservación de la biodiversidad, y es donde se materializa la forma en que las distintas culturas han organizado estas dos actividades (fig. 2).

3. BIODIVERSIDAD EN LA MATRIZ AGRÍCOLA: CONTRIBUCIONES DESDE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL

3.1 Estrategias de producción agrícola y de conservación de la biodiversidad

En el ámbito de la ecología se han debatido dos estrategias contrastantes para ordenar la producción agrícola y la conservación de biodiversidad en la escala de paisaje: las estrategias de integración y de separación territorial (*land sharing* y *land sparing*, en inglés) (Ortega-Álvarez *et al.*, 2018). A grandes rasgos, la estrategia de separación territorial plantea excluir las áreas de producción de las de conservación, y procura minimizar el área dedicada a la agricultura a través de un manejo intensivo de forma que otros espacios se reserven para la conservación y la recuperación de espacios prístinos (Phalan *et al.*, 2011). En cambio, la estrategia de integración territorial propone conjuntar ambas actividades en un mismo paisaje mediante manejos agrícolas menos intensivos que minimicen su impacto sobre la biodiversidad, incluso si se destina una mayor área para la producción. Si bien esta discusión ha sido fuertemente criticada por las limitaciones de su planteamiento inicial, también ha visibilizado la importancia de comprender la interacción compleja entre la agricultura y la biodiversidad, motivando numerosos estudios teóricos y prácticos (Perfecto y Vandermeer, 2012; Ortega-Álvarez *et al.*, 2018).

Rara vez se hace explícito que las estrategias anteriores parten de diferentes supuestos sobre los efectos de la injerencia humana en los paisajes (Perfecto y Vandermeer, 2015). Por un lado, la estrategia de separación supone que la biodiversidad es muy sensible a las actividades humanas, por lo que decae súbitamente en cuanto un paisaje es alterado, de donde se deriva que para conservar es necesario mantener espacios no modificados por el ser humano. Por otro lado, la estrategia de integración supone que existe un rango de actividades poco intensivas cuyo impacto sobre la biodiversidad es mínimo, así que su pérdida ocurre lentamente y

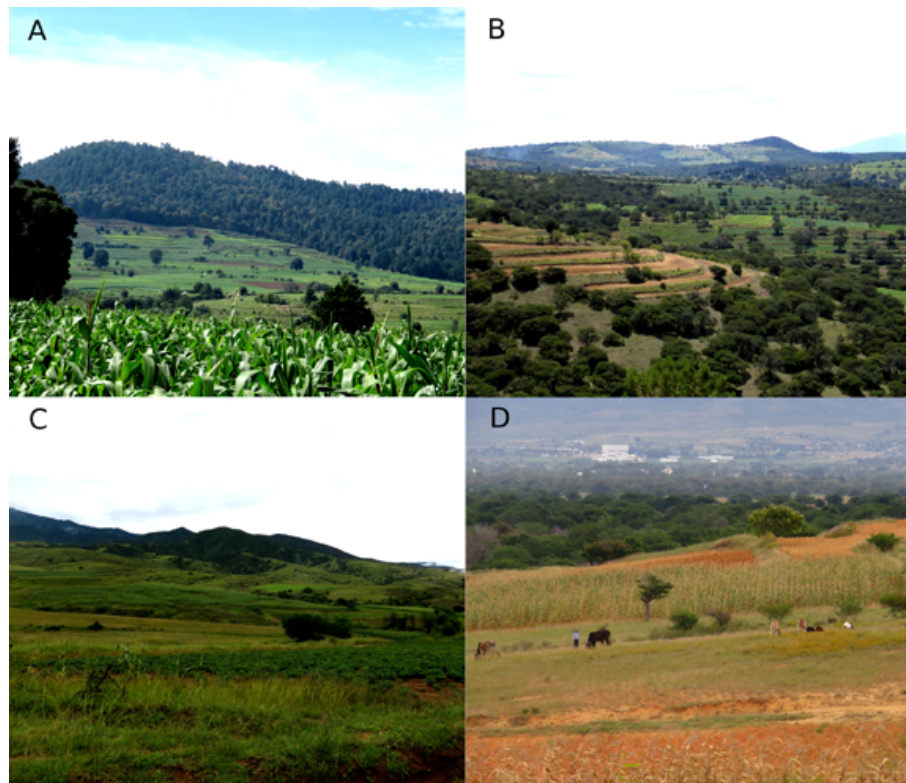


Figura 2: Matrices agrícolas en el centro y sur de México: paisajes fragmentados en los que la agricultura campesina ocupa un área importante y coexiste con diversos tipos de uso de suelo y vegetación. Fotografías de Nanacamilpa, Tlaxcala (A), Vicente Guerrero, Tlaxcala (B) y Zaachila, Oaxaca (C y D).

sólo cuando se han alcanzado altos niveles de alteración en los paisajes. Si bien se ha generado mucha información en torno al debate entre separación e integración territorial, estos supuestos no han sido puestos a prueba y la evidencia disponible hasta ahora es contradictoria (Kremen, 2015, Ortega-Álvarez *et al.*, 2018).

3.2 Probando supuestos con modelos de metacomunidades en paisajes hipotéticos

Para poner a prueba la relación entre la pérdida de biodiversidad y los cambios en los paisajes, es conveniente considerar la teoría de metapoblaciones (Levins, 1969; Hanski y Gaggiotti, 2004). Ésta plantea que las poblaciones no están aisladas, sino que forman parte de una red de poblaciones locales dispersas en el espacio, conectadas entre sí por medio de la migración de individuos entre ellas; a este conjunto de poblaciones se le llama metapoblación. Al moverse a través del paisaje, los individuos de una población local pueden recolonizar sitios donde otra

ha desaparecido, ya sea por causas naturales o por disturbios antropogénicos, evitando así la extinción a nivel regional (figura 3). La dinámica de metapoblaciones es particularmente relevante en ambientes donde las poblaciones habitan en paisajes fragmentados, como los que predominan en los trópicos y subtrópicos en la actualidad (Hansen *et al.*, 2013). Si reconocemos que la migración entre parches es indispensable para evitar las extinciones regionales, entonces se vuelve clara la importancia del espacio donde ésta ocurre, es decir, la matriz agrícola (Vandermeer y Carvajal, 2001). Por tanto, dos aspectos fundamentales de la matriz son su *permeabilidad*, es decir, qué tanto facilita el tránsito o el establecimiento de especies locales, y su *estructura* o arreglo espacial, el cual también determina qué tan fácilmente las especies locales pueden migrar y recolonizar parches (Perfecto *et al.*, 2009, Papaix *et al.*, 2015). Cabe mencionar que ambas, la permeabilidad y la estructura, dependen fuertemente del tipo de agricultura que se practique en una región. Por ejemplo, es de esperarse que las parcelas en las que no se aplica insecticida sean más permeables al tránsito o establecimiento de los insectos que en las que éste se aplica sistemáticamente. También, el tamaño de los predios en los que se realiza la agricultura afecta la estructura de la matriz. Los modelos matemáticos pueden ser de gran utilidad para simular diferentes tipos de matrices y explorar cómo responde la biodiversidad ante cambios en los paisajes. A continuación ilustramos el uso de modelos en esta dirección.

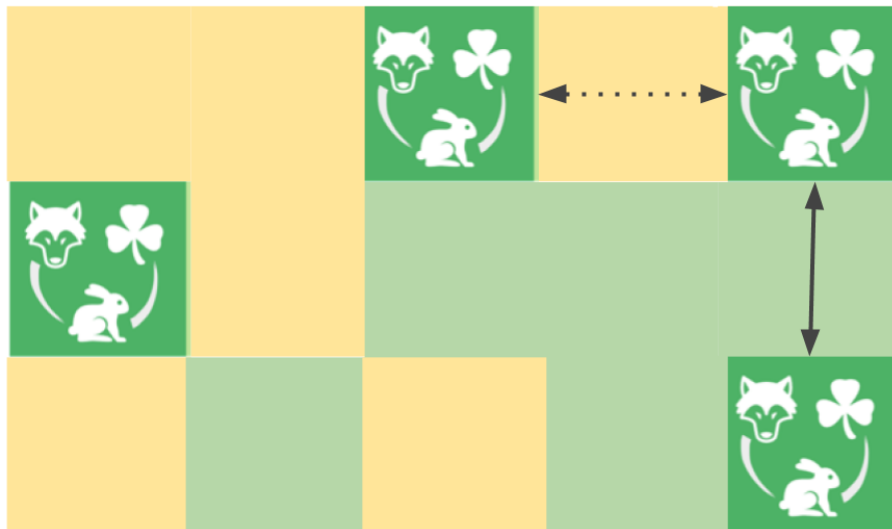


Figura 3: Las metapoblaciones se mantienen regionalmente gracias a la migración y recolonización de parches en los que pueden ocurrir extinciones locales. La imagen es una representación simplificada de una comunidad de tres especies que habitan en remanentes de bosque (cuadros verde oscuro) y que pueden migrar a través de parches de uso agrícola con una permeabilidad mayor (cuadros verde claro) o menor (cuadros amarillos). La permeabilidad y estructura de estas matrices determinan en buena medida la supervivencia de las especies en la escala regional.

Desarrollamos un modelo con el cual simulamos la distribución de comunidades ecológicas en paisajes agrícolas (figura 4A). Utilizamos el modelo de nicho (Williams y Martínez, 2000) para generar comunidades hipotéticas con estructuras realistas, compuestas por especies que se relacionan entre sí mediante interacciones tróficas. Las especies se ubicaron en un paisaje simulado compuesto por fragmentos de hábitat dispersos en una matriz agrícola. En particular, las especies se establecían en los parches de hábitat y los individuos migraban a través de la matriz, formando una metacomunidad (González González *et al.*, 2016; Ramos *et al.*, 2018a). Con este modelo, estudiamos el efecto de cambios en la permeabilidad y en la estructura de la matriz agrícola sobre la supervivencia de las especies.

Los cambios en la permeabilidad los modelamos mediante el reemplazo paulatino de parches más permeables por parches menos permeables, simulando un aumento en la intensidad de las actividades agrícolas (González González *et al.* 2016). Además probamos el efecto de la fragmentación del hábitat modificando la cantidad de parches en que se dividía una superficie constante de hábitat (Ramos *et al.*, 2018) (figura 4B). En general, encontramos que la riqueza de especies disminuye conforme la matriz pierde permeabilidad, pero la intensidad de esta disminución depende del arreglo espacial de los parches de hábitat, de la cantidad de hábitat y de las características intrínsecas de las especies (figuras 4C y 4D). Por lo tanto, encontramos que no existe una única forma en la que se pierde la biodiversidad a medida que se transforman los paisajes, sino que la pérdida depende de la interacción entre diversos factores del paisaje y de las comunidades. Esto contrasta con los supuestos tanto de las estrategias de integración como de separación territorial, ya que nos brinda evidencia matizada sobre los contextos donde la biodiversidad puede presentar una respuesta más o menos robusta a las actividades agrícolas.

4. ¿CÓMO ES LA MATRIZ AGRÍCOLA EN UN UN PAISAJE CAMPESINO? EL CASO DE ZAACHILA, OAXACA

En la sección anterior presentamos evidencia proveniente de modelos matemáticos que sugiere que diferentes rasgos de la estructura de un paisaje pueden influir en la respuesta de la biodiversidad ante las actividades agrícolas y, por tanto, en su conservación. Estos estudios sacan provecho de las herramientas de modelación para explorar paisajes hipotéticos, las cuales brindan una comprensión más detallada de las relaciones causales entre sus componentes. Sin embargo, aunque valiosos por su generalidad, los modelos presentados no dicen mucho sobre paisajes específicos, los cuales suelen ser bastante más intrincados y complejos que aquéllos modelados computacionalmente.

Los estudios de caso pueden aportar una perspectiva local y particular que complementa la generalidad de los modelos matemáticos y abonan evidencia para la discusión de estrategias conjuntas de conservación y producción agrícola en un contexto concreto. En particular, presentamos estudios de caso que nos permiten entender mejor cuál es la estructura y permeabilidad de distintos tipos de matrices agrícolas.

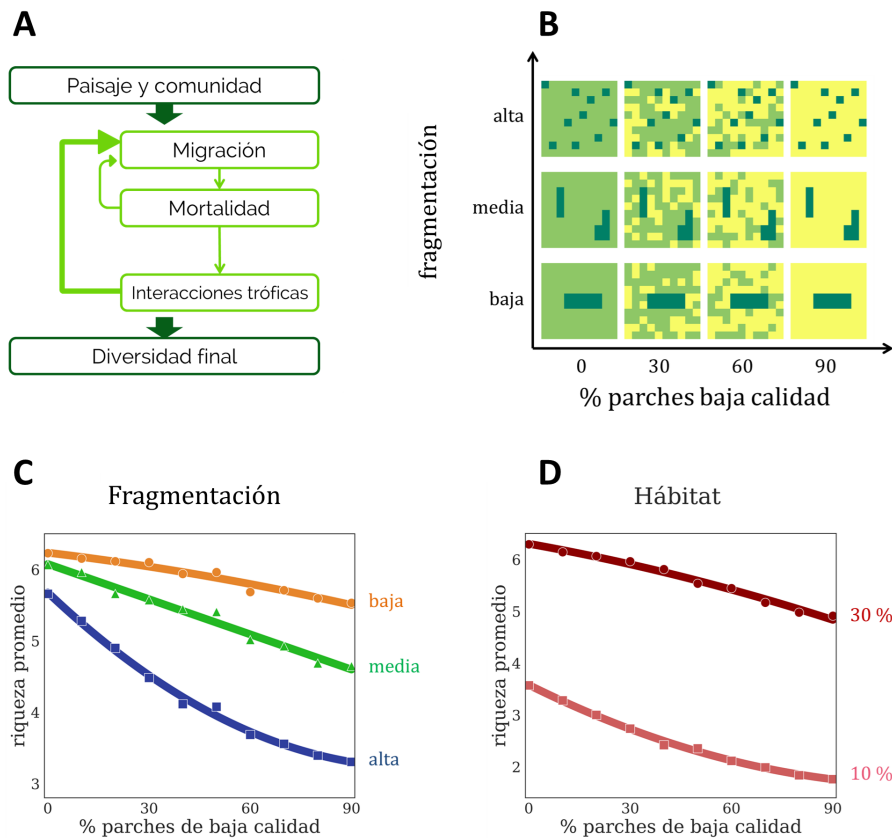


Figura 4: Esquema del modelo que acopla una dinámica de interacciones tróficas locales con la migración de individuos a través de un paisaje simulado (A). Conjunto de paisajes en los que probamos el modelo para estudiar el efecto de la pérdida de permeabilidad y la fragmentación (B). Encontramos que hay una pérdida de riqueza más abrupta cuando la fragmentación es alta (curva azul en C) y cuando hay una poca cantidad de hábitat natural (D) (Ramos *et al.*, 2018b).

Durante los últimos cinco años nuestro grupo ha trabajado en la Villa de Zaachila (Zaachila de aquí en adelante), en los Valles Centrales de Oaxaca, México. Zaachila es una pequeña ciudad, cercana a la capital de Oaxaca, con una tradición campesina de cerca de 3500 años, que históricamente ha alojado una enorme diversidad, tanto biológica como cultural (Ruiz Medrano, 2011). Los principales cultivos del municipio son el maíz (Bolita), el frijol, el cacahuate, la alfalfa y la nuez (OEIDRS, 2005). La alfalfa se siembra usualmente en terrenos con acceso a riego y es de los cultivos mejor pagados. La nuez, el frijol, el cacahuate y el maíz se suelen sembrar en terrenos de temporal y son comercializados por los mismos campesinos desde sus casas o en la plaza. El mercado de Zaachila es una de las instancias más im-

portantes para la comunidad, es esencial para la economía campesina y constituye una interfaz entre el medio rural y el urbano (Mora Van Cauwelaert, 2017).

Además de ser de interés por su propia historia, Zaachila puede fungir como un sitio de referencia que represente a otras regiones del centro y sur de México, en donde los paisajes hayan sido moldeados mayormente por la agricultura campesina y en donde actualmente coexistan diferentes tipos de manejo agrícola y formas de tenencia de la tierra, incluyendo ejidos, tierras comunales y propiedad privada (Mora Van Cauwelaert, 2017). Además, Zaachila pasó de tener una cobertura urbana de 3 % en 2002 al 20 % en 2016, urbanizando en particular terrenos destinados a la agricultura de temporal (INEGI serie III, 2002; INEGI serie VI, 2016). En este sentido, puede ser también un sitio que permita estudiar los efectos de cierto tipo de urbanización sobre diferentes rasgos del paisaje y sus consecuencias para la biodiversidad.

4.1 Estructura espacial de una matriz agrícola campesina

Las características estructurales de los paisajes como la forma y el tamaño de los parches, la densidad de los bordes y la distancia entre los parches, también pueden tener efectos importantes en la dinámica de las metapoblaciones, en la estructura de las comunidades o en la selección de caracteres evolutivos (Tschardtke *et al.*, 2012; Melo *et al.*, 2013; Fahrig, 2017). Por ejemplo, Liao y colaboradores (2016) encontraron que ciertas configuraciones pueden compensar la pérdida de hábitat y reducir los riesgos de extinción. Desde la perspectiva agrícola, existen estudios que demuestran que el tipo de paisaje que rodea las zonas agrícolas tiene un fuerte impacto en la polinización, la herbivoría, la fertilidad y la productividad de las parcelas (Fahrig, 2003; Tschardtke *et al.*, 2005; Poveda *et al.*, 2012; Connelly *et al.*, 2015; Boesing *et al.*, 2017).

En particular, el estudio de la heterogeneidad espacial brinda herramientas formales para describir los paisajes con más claridad. La heterogeneidad espacial estudia qué compone al paisaje y cómo está estructurado en el espacio, es decir, su heterogeneidad composicional y configuracional, respectivamente (Fahrig *et al.*, 2011; Turner y Gardner, 2015). Para estudiar la heterogeneidad de los paisajes podemos utilizar distintas herramientas. Los mapas de uso de suelo y vegetación caracterizan de manera visual y cualitativa la heterogeneidad espacial, mientras que las métricas del paisaje nos permiten cuantificarla a partir de imágenes satelitales, que son cada vez más accesibles (McGarigal y Cushman, 2002).

En América Latina se han realizado pocos esfuerzos por caracterizar la estructura de los paisajes agrícolas campesinos, que son los más ampliamente distribuidos en el territorio mexicano (CEMDA, 2017; Bellon *et al.*, 2018). Debido a su prevalencia y su relación con las diversidades biológica y cultural, es necesario estudiar estos paisajes, cuyas historias de manejo son muy distintas a las de los paisajes agrícolas bajo manejo industrial descritos, con mayor frecuencia, en la literatura (McGarigal y Cushman, 2002). En nuestro grupo nos hemos propuesto sistematizar la información sobre la cobertura vegetal y el uso de suelo del municipio de Zaachila, caracterizar la heterogeneidad espacial de este sitio utilizando métricas

del paisaje y proveer de elementos para delinear estrategias articuladas de conservación y producción en la zona de estudio (Urrutia *et al.*, 2020).

En cuanto a la composición del paisaje, hemos reportado que el uso de suelo agrícola es por mucho el más abundante en Zaachila, siendo la agricultura de temporal, en términos de extensión, más importante que la agricultura de riego (39 % vs. 9 %) (figura 5). La agricultura de temporal es aquella en donde sólo se siembra la parcela durante la temporada húmeda del año, pues, al no tener riego, la producción de las parcelas depende exclusivamente del agua de lluvia. Por otro lado, la agricultura de riego en esta zona es diferente a la que se practica en el norte del país o en otras zonas del mundo con sistemas altamente industrializados: el 46 % del riego en Oaxaca es riego por gravedad o riego manual (por ejemplo, a través de canales de tierra). Del resto de la agricultura de riego, el 32 % utiliza sistemas de goteo, y el 10 % sistemas de aspersión (INEGI, 2017). Esta diversidad de estrategias de riego se conjunta con la de otras prácticas agrícolas para dar lugar a una vasta diversidad de estrategias de manejo a lo largo de un gradiente de industrialización que más adelante detallaremos.

Además hemos caracterizado la heterogeneidad espacial de este paisaje mediante ocho métricas a nivel del paisaje y otras ocho a nivel de clases de usos de suelo. Esto nos permitió compararlo con otros paisajes agrícolas y argumentar en torno a los esquemas de conservación pertinentes para la zona de estudio (Urrutia *et al.*, 2020). En particular, comparamos el paisaje de Zaachila con otros paisajes agrícolas al Oeste de Estados Unidos. Encontramos que tienen diferencias importantes, atribuibles a sus distintas historias climáticas, políticas, culturales y de manejo (Cardille *et al.*, 2005). El paisaje de Zaachila, y probablemente muchos otros paisajes campesinos en nuestro país, tiene una mayor diversidad, complejidad y conectividad que los paisajes agrícolas en Estados Unidos (Urrutia *et al.*, 2020). Éste es un buen ejemplo de las diferencias que pueden existir entre los paisajes en zonas agrícolas de América Latina, manejados por campesinos, y los paisajes agrícolas que han sido el foco de los estudios de heterogeneidad del paisaje agrícola hasta el momento (Wu *et al.*, 2002; McGarigal y Cushman, 2002; Wu, 2004; Peters *et al.*, 2007; Poveda *et al.* 2012; Connelly *et al.* 2015). Así, esta comparación destaca la importancia de estudiar y caracterizar paisajes en los trópicos para poder entender los procesos socioecológicos que ahí ocurren y, en última instancia, discutir y diseñar estrategias acordes al contexto local.

De las distintas clases de uso de suelo y vegetación de Zaachila, el bosque y la agricultura de temporal son las más importantes para discutir estrategias de integración de la producción agrícola y la conservación de la biodiversidad. Por una parte, los parches de agricultura de temporal están en contacto con la mayoría de las otras clases. En contraste, el bosque está concentrado en pocos parches grandes con menos contacto con el resto de la matriz que la agricultura de temporal (figura 5). Teniendo en cuenta que los parches de bosque en general están separados unos de otros y que esto puede dificultar la dinámica de la migración y la recolonización de las metapoblaciones, la matriz que rodea los parches de bosque se vuelve central para la conservación de las metapoblaciones silvestres.

La alta heterogeneidad del paisaje de Zaachila nos habla de un paisaje complejo que puede tener efecto en la conservación de las metapoblaciones locales. Considerando la larga historia de uso de suelo agrícola de los Valles Centrales de Oaxaca y la importancia de la agricultura para la vida cotidiana de estas zonas, una propuesta viable para favorecer las conexiones entre los parches de bosque es propiciar prácticas agrícolas que favorezcan la permeabilidad en la matriz; por ejemplo, la incorporación de un arreglo diverso de cultivos, el poco o nulo uso de insumos tóxicos y una estructura espacial diversa en las parcelas capaz de dar refugio o sustento a la biodiversidad local. Dado que la matriz en Zaachila está dominada por la agricultura de temporal, que a su vez mostró tener una alta conectividad, es particularmente importante mantener y fomentar en esta clase de uso de suelo las prácticas agrícolas con estas características (Vandermeer y Perfecto, 2007; Urrutia *et al.*, 2020).

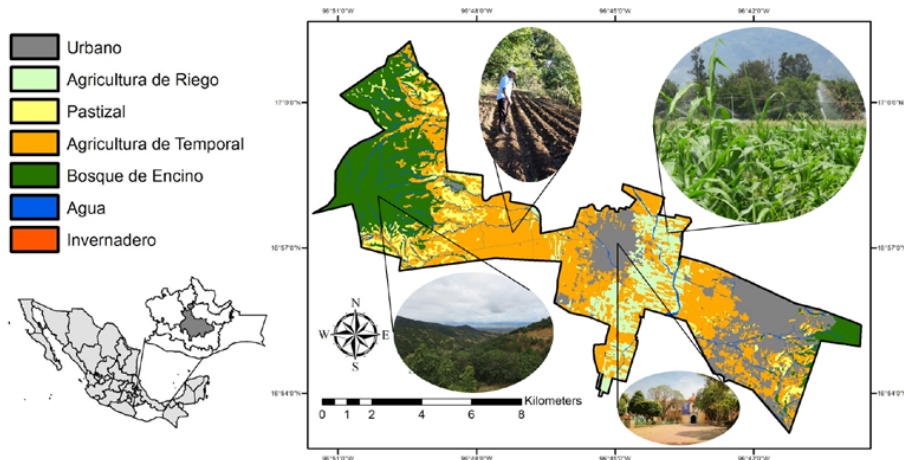


Figura 5: Diversidad de usos de suelo y vegetación y arreglo espacial de la matriz agrícola en la Villa de Zaachila, Oaxaca. Aquí, como en otros paisajes campesinos de México, la agricultura ocupa un área importante y se entremezcla en patrones intrincados con otros tipos de uso de suelo y vegetación.

4.2 Permeabilidad de los tipos de manejo agrícola: la artropofauna como indicador

En el enfoque clásico de la conservación se considera a la agricultura como gran antagonista de la biodiversidad pues se tiene en mente un tipo de manejo particular, cuyos efectos son devastadores sobre los recursos hídricos, el suelo, las especies y sus interacciones (Carson, 2002; Hobbelink, 1991). Sin embargo, no existe una sola agricultura, sino una vasta diversidad de tipos de manejo de los agroecosistemas, y que podemos ubicar a lo largo de un gradiente que va desde lo que hemos llamado tradicional hasta lo industrializado.

Entre otras cosas, los tipos de manejo se diferencian por la diversidad de especies cultivadas y asociadas; estas últimas se refieren a las especies que los campesinos no colocan en sus parcelas, pero que pueden migrar a través de ellas o establecerse temporal o permanentemente. Los manejos más tradicionales suelen tener una alta variedad de especies cultivadas y asociadas, mientras que los manejos industrializados tienen una baja diversidad de especies (Moguel y Toledo, 1999; Perfecto *et al.*, 2009; Vandermeer, 2011). De hecho, los agroecosistemas pueden funcionar como importantes repositorios de vida silvestre dados ciertos tipos de manejo, por ejemplo, los cafetales agroecológicos pueden mantener y hasta incrementar la biodiversidad a nivel del paisaje. Esta diversidad de especies, a su vez, depende del resto de las prácticas llevadas a cabo en las parcelas, que en su conjunto dan lugar a su nivel de permeabilidad (Perfecto *et al.*, 1997; Perfecto, 2003; Perfecto y Armbrrecht, 2003; Perfecto *et al.*, 2007).

Para estudiar cómo distintas prácticas agrícolas afectan la permeabilidad de las parcelas a la biodiversidad local de la Villa de Zaachila, comparamos la diversidad de coleópteros en parcelas con distintos tipos de manejo (González González *et al.*, 2020). Entre otras cosas, elegimos los coleópteros como grupo indicador de la permeabilidad debido a su alta diversidad taxonómica y funcional, además de su ubicuidad y los diferentes requerimientos ecológicos que las distintas familias presentan, siendo algunas generalistas y resistentes a los cambios ambientales y otras especialistas sensibles a las perturbaciones (Holland, 2002; Ohsawa, 2010; Campanelli & Canali, 2012; Lassau *et al.*, 2005).

Caracterizamos el tipo de manejo con base en una metodología mixta que combina información obtenida de entrevistas hechas a los campesinos y observaciones en campo con estadística multivariada (Alvarez *et al.*, 2014). Para ello, trabajamos con un grupo de campesinos con quienes hemos construido una relación de confianza a través de los años de trabajo conjunto en la localidad. Juntos, hicimos una primera búsqueda de parcelas con características contrastantes. Por un lado, buscamos parcelas con una alta variedad de cultivos, preferentemente de semillas locales, y con un nulo o bajo uso de insumos agroindustriales. Aunque la combinación exacta de prácticas agrícolas variara entre ellas, postulamos que al compartir estas características constituirían una categoría similar. Por otro lado, buscamos parcelas que tendieran a la siembra de variedades híbridas en monocultivo y al uso de maquinaria pesada.

Con esto en mente, los campesinos nos ayudaron a elegir dieciséis parcelas distribuidas al norte, sur, este y oeste de la localidad. Tras esta primera selección, realizamos una descripción más detallada del manejo de las parcelas a través de observaciones *in situ* y de entrevistas semiestructuradas. Las entrevistas fueron dirigidas al núcleo familiar responsable del manejo de cada parcela y trataron temas como las especies sembradas, el origen de sus semillas, el uso de insumos externos, las técnicas de rotación de cultivos, los métodos de deshierbe, la presencia de quelites, los cercos vivos, la presencia o ausencia de riego, la incorporación o no de la cosecha al mercado, etc. De toda la información recabada y sistematizada, se eligieron las variables para las que obtuvimos información clara por parte de

todos los entrevistados. Éstas se integraron en un análisis de componentes principales que dio como resultado un gradiente de industrialización a lo largo del cual se ubicaron las parcelas muestreadas. Para facilitar el análisis, discretizamos este gradiente en dos categorías: las parcelas tradicionales y las industrializadas. Cabe resaltar que el nivel de industrialización es relativo, pues todas conservan rasgos de la agricultura campesina tradicional, como el tamaño pequeño de las parcelas y su manejo fundamentalmente familiar. A partir de este análisis encontramos que las variables que definieron con más peso el gradiente de industrialización fueron la cantidad de cultivos presentes y la cantidad de variedades de cada cultivo. Esto quiere decir que en esta localidad, el resto de las variables que generalmente han sido asociadas al manejo tradicional (por ejemplo, variedades nativas, presencia de quelites, árboles y bordes manejados (Altieri *et al.*, 1997)) suelen encontrarse presentes en aquellas parcelas con una alta diversidad de cultivos. La presencia o ausencia de riego, por otro lado, no fue una variable definitoria para ninguna de las dos categorías de manejo.

De acuerdo a esta categorización, encontramos que la diversidad de coleópteros, tanto a nivel de familias como de morfoespecies, fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en las parcelas del grupo tradicional. Además, encontramos una correlación positiva entre la diversidad de la familia Curculionidae (conocidos localmente como gorgojos o picudos) y el resto de los coleópteros, así como una correlación de la misma con los manejos más tradicionales. Debido a estas correlaciones y a la ubicuidad de los curculiónidos en la mayoría de las parcelas, parecen ser un indicador útil en la zona para evaluar la permeabilidad de las parcelas. Así pues, los distintos tipos de manejo agrícola en la Villa de Zaachila sí tuvieron un efecto significativo sobre la permeabilidad de las parcelas y por lo tanto en su biodiversidad asociada. Sumando este resultado con el análisis sobre la heterogeneidad espacial del paisaje de Zaachila, postulamos que fomentar un tipo de manejo tradicional en las zonas de agricultura de temporal es una manera óptima de mejorar la permeabilidad del paisaje y, por tanto, beneficiar la conservación de la biodiversidad en el mismo.

4.3 Los modos de producción agrícola y la diversidad cultural

Los tipos de manejo agrícola, y en última instancia la matriz agrícola, son construidos y modificados por las comunidades campesinas. Los campesinos son el resultado de lo que producen y cómo lo producen. En las milpas, los traspatios y los bosques, la naturaleza es transformada por el ser humano y es transformadora de éste al mismo tiempo. Es ahí donde los campesinos van fabricando significados y construyendo una identidad. La vida de los campesinos se concretiza en el campo de cultivo y es éste el medio en donde se han ido materializando un gran número de relaciones sociales a lo largo del tiempo. Entender las interacciones económicas, históricas y culturales que atraviesan las comunidades campesinas nos puede dar más pistas sobre cómo realizar una agricultura justa socialmente que al mismo tiempo conserve la biodiversidad (fig. 1). Por ello, de manera paralela hemos explorado algunas determinantes de esta dimensión y sus implicaciones en la rela-

ción agricultura-biodiversidad (Foster, 2000; Lefebvre, 2013; Mora Van Cauwelaert, 2017; Alonso-Fernández, en preparación).

A través de entrevistas con las familias campesinas encontramos que el manejo tradicional de la milpa en Zaachila, y en particular la siembra de maíces nativos, está siendo desplazada por la siembra de variedades híbridas y por la importación de granos de maíz de otros estados como Sinaloa o Puebla. Por un lado, la siembra de maíces híbridos y los paquetes de agroquímicos suelen prometer una salida económica más rentable, llevando a varios campesinos a optar por una agricultura más industrial. Por otro lado, el bajo precio del maíz importado desmotiva la siembra local de maíces nativos. A pesar de esto, la siembra de maíces nativos se ha logrado mantener en varias familias por sus usos en la elaboración de platillos específicos, para fiestas o eventos en diferentes momentos del año. En efecto, el maíz tipo *Bolita* en sus diferentes subtipos (blanco, amarillo, rojo) se emplea para elaborar una gran variedad de comidas (figura 6). Los sabores y texturas de estos maíces, pero también los tiempos de cocción y preparación, son buscados por las mismas personas de la comunidad. Por ello, el maíz nativo sigue siendo esencial en las familias en Zaachila y, aun con precios de venta más elevados, sigue siendo comprado y, por lo tanto, sembrado cada año (Mora Van Cauwelaert, 2017).

Es así que la siembra de maíces nativos, el manejo tradicional asociado y su impacto sobre la biodiversidad son afectados por determinantes económicas, pero también por la cosmovisión de la comunidad. La agricultura es, por lo tanto, un hecho político en cuanto a que es ahí donde se reproducen las relaciones sociales de producción y donde se tiene la conciencia y la capacidad de incidir sobre la realidad. La diversidad asociada a los agroecosistemas es producto de la sociedad, y consecuencia del trabajo que durante miles de años se ha ido concretando y materializando tanto en las variedades de plantas producidas en el presente como en las recetas y en las fiestas de la comunidad. Es así que las milpas, los traspatios y los bosques, y finalmente el paisaje, son el lugar en donde se produce un amplio conjunto de objetos naturales y sociales; objetos que no sólo son cosas sino que son, sobre todo, relaciones (Foster, 2000; Brush & Perales, 2007; Urquijo y Barrera-Bassols, 2009; Alonso-Fernández, en preparación).

5. CONCLUSIONES, APRENDIZAJES Y PERSPECTIVAS

Comenzamos este capítulo argumentando que la biodiversidad, la agricultura y la diversidad cultural se determinan y retroalimentan entre sí de diferentes maneras (figura 1), de forma que abordar los problemas asociados a la pérdida de biodiversidad y la prevalencia de sistemas agroalimentarios no sustentables requiere de marcos de referencia integrales. En particular, las ciencias de la complejidad proveen de un marco conceptual y técnico para abordar el estudio de sistemas caracterizados por interacciones bidireccionales y no aditivas entre diversos elementos, así como para modelar y explorar las dinámicas espacial y temporal de sistemas de este tipo, como son los sistemas agroalimentarios (e.g., López-Martínez, 2017; Braasch *et al.*, 2018; García Jácome *et al.*, 2020).



Figura 6: Variedad de platillos como ejemplo de la diversidad cultural asociada a la agricultura campesina y las variedades locales de maíz y otros cultivos. A. Tamales, B. Nicuatole, C. Memelas, D. Atole, E. Tlayuda, F. Pinole, G. Tejate, H. Espuma, I. Tortillas. Las imágenes A, C, D, E y G son de **dominio público**. La imagen H proviene de **la Feria del Atole y la Espuma**. Las imágenes B, F e I fueron tomadas por Emilio Mora Van Cauwelaert.

En nuestro caso, la perspectiva de las ciencias de la complejidad nos ha permitido conceptualizar el sistema de relaciones entre la biodiversidad, la agricultura y la diversidad cultural, en general, y también en un caso concreto en los Valles Centrales de Oaxaca (figura 1). Esta conceptualización nos ha guiado en el diseño de investigaciones teóricas y prácticas orientadas a identificar los mecanismos y determinantes de este sistema, las cuales incluyen desde entrevistas y muestreos en campo, hasta la elaboración de modelos matemáticos y computacionales.

Entonces, por un lado hemos estudiado cómo son los tipos de manejo agrícola en los Valles Centrales de Oaxaca y cómo éstos se relacionan con la diversidad de los escarabajos. Los escarabajos, a su vez, son considerados un buen indicador de

diversos procesos ecológicos e interactúan con los cultivos de manera importante, ya sea como herbívoros y potenciales plagas, como detritívoros o como polinizadores. Por otro lado, hemos utilizado métricas cuantitativas para estudiar la composición y configuración del paisaje agrícola en esta zona, el cual ha resultado particularmente heterogéneo. Con base en esto y en los aprendizajes generados a partir del estudio de paisajes y especies virtuales, hemos podido especular respecto a cómo la agricultura tradicional, al alojar mayor diversidad de escarabajos que la agricultura industrializada, puede fungir como una matriz que facilite la migración y la reproducción de la biodiversidad local. A su vez, las parcelas de temporal, por su ubicación clave en el paisaje, son el lugar ideal para fomentar este tipo de manejo. Finalmente, hemos documentado que una de las principales motivaciones para la siembra de variedades locales de maíz radica en su uso como parte de la amplia cultura culinaria zaachileña. En la tipología de manejos agrícolas encontramos que la siembra de estas variedades locales, sobre todo cuando es en policultivo, está asociada a un manejo agrícola más permeable para la biodiversidad local y a una matriz agroecológica de mayor calidad.

Así, conceptualizar este sistema de relaciones y explorar sus especificidades a partir de diversos métodos de la ecología y de las ciencias de la complejidad, nos ha facilitado cuestionar la falsa dicotomía entre conservación y producción de alimentos así como reconocer la multicausalidad de los fenómenos implicados. También nos ha permitido entender mejor los procesos de creación y reproducción de las diversidades biológica y cultural: cómo la reproducción de la cultura campesina, manifestada por ejemplo en la bebida conocida como tejate, va de la mano de la reproducción de las variedades nativas de maíz y de una forma de producción que favorece la reproducción de los escarabajos, y probablemente de muchos más taxones que habitan estos paisajes agrícolas. Esto resuena con la propuesta agroecológica que sostiene que para conservar las diversidades biológica y cultural del planeta, es fundamental unirse a las luchas de millones de campesinos que han creado y reproducido sistemas agroalimentarios más sustentables y justos que la contraparte del agronegocio capitalista (Perfecto *et al.*, 2009; Rosset y Altieri, 2018).

Aún queda mucho por aprender respecto a la aplicación de los modelos y aproximaciones que presentamos en este capítulo. Cada modelo expuesto tiene, además, sus propios supuestos y limitaciones, por lo que resulta fundamental contrastarlos entre sí para interpretarlos correctamente. Por otra parte, también resulta crucial compararlos y de ser posible articularlos con estudios históricos, antropológicos y sociológicos que trabajen con otros supuestos y herramientas (e.g. Braasch *et al.*, 2018; García Jácome *et al.*, 2020). Pero quizá el mayor desafío consiste en generar y utilizar este tipo de estudios a partir del trabajo conjunto con los campesinos y habitantes de las matrices agroecológicas de las que tanto hemos hablado. Nos queda por delante explorar, por ejemplo, si es posible seleccionar las variables y supuestos de los estudios no sólo a partir de la teoría ecológica o agroecológica que podemos aportar como investigadores, sino también a partir de las necesidades, intereses y conocimiento de quienes viven los territorios y construyen la biodiversidad y la diversidad cultural. Nos entusiasma pensar en las

herramientas de las ciencias de la complejidad como medios para imaginar y transformar paisajes y territorios en los que puedan coexistir sistemas agroalimentarios campesinos justos con la biodiversidad en todos sus niveles y formas.

REFERENCIAS

- Alonso-Fernández, C. (en preparación). *Rasgos de domesticación en variedades de chile (C. annuum L.) asociados a condiciones ambientales y socioeconómicas en el estado de Oaxaca, México* [tesis de la maestría en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Altieri, M., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, R., Norgaard, R. y Sikor, T. O. (1997). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable* (No. F08 A48). Centro de Investigación, Educación y Desarrollo, Lima; Secretariado Rural Perú-Bolivia, La Paz.
- Altieri, M.A. & Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants, *The Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587–612.
- Alvarez, S., Paas, W.H., Descheemaeker, K.K.E., Tittonell, P.A. y Groot, J.C.J. (2014). *Construcción de tipologías, una forma de manejar la diversidad de las fincas: directrices generales para Humidtropics: Informe para el Programa de Investigación del CGIAR sobre Sistemas Integrados para los Trópicos Húmedos*. Wageningen UR.
- Angelsen, A. (2010). Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 46, 19639–19644.
- Avelino, J., Romero-Gurdián, A., Cruz-Cuellar, H.F. & Declerck, F.A.J. (2012). Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes. *Ecological Applications*, 22(2), 584–596.
- Bellon, M. R., Mastretta-Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Ortiz-Santamaría, D., Oliveros-Galindo, O., Perales, H., Acevedo, F. y Sarukhán, J. (2018). Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican campesinos. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1885), 20181049.
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Boesing, A.L., Nichols, E. & Metzger, J.P. (2017). Effects of landscape structure on avian-mediated insect pest control services: a review. *Landscape Ecology*, 32(5), 931–944.
- Braasch, M., García-Barrios, L., Cortina-Villar, S., Huber-Sannwald, E. & Ramírez-Marcial, N. (2018). TRUE GRASP: Actors visualize and explore hidden limitations of an apparent win-win land management strategy in a MAB reserve. *Environmental Modelling & Software*, 105, 153–170.
- Brush, S.B. & Perales, H.R. (2007). A maize landscape: Ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(3), 211–221.
- Burel, F. (1989). Landscape structure effects on carabid beetles spatial patterns in western France. *Landscape Ecology*, 2(4), 215–226.
- Burney, J.A., Davis, S.J. & Lobell, D.B. (2010). Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 26, 12052–12057.
- Campanelli, G. & Canali, S. (2012). Crop production and environmental effects in conventional and organic vegetable farming systems: The case of a long-term experiment in Mediterranean conditions (Central Italy). *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(6), 599–619.

- Canale, G.R., Peres, C.A., Guidorizzi, C.E., Gatto, C.A.F. & Kierulff, M.C.M. (2012). Pervasive defaunation of forest remnants in a tropical biodiversity hotspot. *PLoS ONE*, 7(8), e41671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041671>
- Cardille, J.A., Turner, M., Clayton, M.K., Gergel, S. & Price, S. (2005). METALAND: Characterizing spatial patterns and statistical context of landscape metrics. *Bioscience*, 55, 983–988.
- Carson, R. (2002). *Silent spring*. Houghton Mifflin Harcourt.
- CEMDA (Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C.) (2014). *Informe sobre Destrucción del patrimonio biocultural de México por megaproyectos y ausencia de legislación y política pública culturalmente adecuada para los pueblos indígenas y comunidades equiparables, motivo de la audiencia temática en el 153° periodo de sesiones de la Comisión Interamericana de Derechos Humanos, Washington, D.C. EE.UU.* Disponible en: http://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2015/09/Informe-CIDH-PatBio.VF_.pdf
- CEMDA (Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C.) (2017). *Derechos Humanos y Patrimonio Biocultural. El sistema milpa como cimiento de una política de Estado cultural y ambientalmente sustentable.* Disponible en el sitio: https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2018/05/Informe-Milpa_4.pdf
- Chapell, M.J., Wittman, H., Bacon, C.M., Ferguson, B.G., García Barrios, L., García Barrios, R., Jaffee, D., Jefferson, L., Méndez, V.E., Morales, H., Soto-Pinto, L., Vandermeer, J. & Perfecto, I. (2013). Food sovereignty: an alternative paradigm for poverty reduction and biodiversity conservation in Latin America. *F1000 Research*, 2, 235.
- Chust, G., Pretus, J. L., Ducrot, D., Bedòs, A. & Deharveng, L. (2003). Response of soil fauna to landscape heterogeneity: determining optimal scales for biodiversity modeling. *Conservation Biology*, 17(6), 1712–1723.
- Claeys, P. & Edelman, M. (2019). The United Nations Declaration on the rights of peasants and other people working in rural areas. *The Journal of Peasant Studies*, 1–68.
- Connelly, H., Poveda, K. & Loeb, G. (2015). Landscape simplification decreases wild bee pollination services to strawberry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211, 51–56.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487–515.
- Fahrig, L. (2017). Ecological response to habitat fragmentation per se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48, 1–23.
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G. & Martin, J.L. (2011). Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes: heterogeneity and biodiversity. *Ecology Letters*, 14(2), 101–12.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2016). *El estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra.* Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Foster, J.B. (2000). *La ecología de Marx. Materialismo y naturaleza.* El Viejo Topo.
- Franklin, J.F. & Lindenmayer, D. B. (2009). Importance of matrix habitats in maintaining biological diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(2), 349–350.
- Gallé, R., Happe, A.K., Baillod, A.B., Tschamtkke, T. & Batáry, P. (2019). Landscape configuration, organic management, and within-field position drive functional diversity of spiders and carabids. *Journal of Applied Ecology*, 56(1), 63–72.
- García-Jácome, L.G., García-Frapolli, E., Bonilla-Moheno, M., Rangel-Rivera, C., Benítez, M. & Ramos-Fernández, G. (2020). Multiple Resource Use Strategies and Resilience

- of a Socio-ecosystem in a Natural Protected Area in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 522657. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.522657>
- Gepts, P., Bettinger, T.R., Brush, S.B., Damania, A.B., Famula, T., McGuire, P.E. & Qualset, C.O. (2012). Introduction: The Domestication of Plants and Animals: Ten Unanswered Questions. In: P. Gepts, T.R. Famula, R.L. Bettinger, S.B. Brush, A.B. Damania, P.E. McGuire & C.O. Qualset (eds.), *Biodiversity in Agriculture. Domestication, Evolution and Sustainability* (pp. 1–8). Cambridge University Press.
- González González, C., Lara García, T., Jardón-Barbolla, L. & Benítez, M. (2020). Linking coleopteran diversity with agricultural management of maize-based agroecosystems in Oaxaca, Mexico. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 590720.
- González González, C., López Martínez, R., Hernández López, S. & Benítez, M. (2016). A dynamical model to study the effect of landscape agricultural management on the conservation of native ecological networks. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 40(9), 922–940.
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O. y Townshend, J.R.G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342, 850–853.
- Hanski, I.A. y Gaggiotti, O.E. (eds.) (2004). *Ecology, Genetics and Evolution of Metapopulations*. Burlington: Elsevier Academic Press.
- Hobbelink, H. (1991). *Biotechnology and the future of world agriculture: the fourth resource*. Zed Books.
- Holland, J.M. (2002). *The agroecology of carabid beetles*. Intercept Limited.
- Ickowitz, A., Powell, B., Salim, M.A. y Sunderland, T.C.H. (2014). Dietary quality and tree cover in Africa. *Global Environmental Change*, 24(1), 287–294.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2002). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1: 250 000. Serie III (continuo nacional)*.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2016). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1: 250 000. Serie VI (continuo nacional)*.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2017). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2017*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/>
- Karp, D.S., Chaplin-Kramer, R., Meehan, T.D., Martin, E.A., DeClerck, F., Grab, H., Gratton, C., Hunt, L., Larsen, A.E., Martínez-Salinas, A., O'Rourke, M., Rusch, A., Poveda, K., Jonsson, M., Rosenheim, J.A., Schellhorn, N.A., Tscharrntke, T., Wratten, S.D., Zhang, W., ... Zou, Y. (2018). Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *PNAS*, 115(33), E7863–E7870.
- Kremen, C. (2015). Reframing the land-sparing/land-sharing debate for biodiversity conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1355(1), 52–76.
- La Vía Campesina (2003, 15 de enero). *Qué es la soberanía alimentaria*. Recuperado del sitio: <https://viacampesina.org/es/que-es-la-soberania-alimentaria/>
- Lambin, E.F., Rounsevell, M.D.A. y Geist, H.J. (2000) Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82: 321–331.
- Lassau, S.A., Hochuli, D.F., Cassis, G. y Reid, C.A. (2005). Effects of habitat complexity on forest beetle diversity: do functional groups respond consistently? *Diversity and distributions*, 11(1), 73–82.

- Lefebvre, H. (2013). *La producción del espacio*. Madrid: Capitán Swing Libros.
- León Hernández, E. (2011). Territorialidad campesina y contrarreforma agraria neoliberal en México. En: G. Calderón Aragón y E. León Hernández (coords.), *Descubriendo la espacialidad social desde América Latina* (pp. 179–208). México: Itaca.
- Levins, R. (1969). Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 15(3), 237–240.
- Liao, J., Chen, J., Ying, Z., Hiebeler, D.E. y Nijs, I. (2016). An extended patch-dynamic framework for food chains in fragmented landscapes. *Scientific Reports*, 6, 33100.
- López-Martínez, R. (2017). *Modelos dinámicos de redes ecológicas para un sistema productivo complejo: la milpa mexicana* [tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Lyver, P.B., Timoti, P., Davis, T. & Tylianakis, J.M. (2019). Biocultural hysteresis inhibits adaptation to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(9), 771–780.
- McGarigal, K. y Cushman, S.A. (2002). Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, 12(2), 335–345.
- Melo, F.P.L., Arroyo-Rodríguez, V., Fahrig, L., Martínez-Ramos, M. y Tabarelli, M. (2013). On the hope for biodiversity-friendly tropical landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(8), 462–468.
- Moguel, P. y Toledo, V. M. (1999). Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11–21.
- Mora Van Cauwelaert, E. (2017). *Diagnóstico del movimiento comercial del maíz y de las razones económicas y culturales-simbólicas para la siembra del maíz criollo en la Villa de Zaachila, Oaxaca: un enfoque desde las familias campesinas* [tesis de maestría, Universidad Internacional de Andalucía].
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- Ohsawa, M. (2010). Beetle families as indicators of Coleopteran diversity in forests: a study using Malaise traps in the central mountainous region of Japan. *Journal of Insect Conservation*, 14(5), 479–484.
- Ojima, D.S., Galvin, K.A. y Turner, B.L. (1994). The global impact of land-use change. *Bioscience*, 44, 300–304.
- OEIDRS (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable) (2005). *Tarjeta distrital de la Villa de Zaachila*.
- Ortega-Álvarez, R., Casas, A., Figueroa, F. y Sánchez-González, L.A. (2018). Producir y conservar: nuevos horizontes en torno a los modelos de integración y separación territorial. *Sociedad y ambiente*, 7(18), 11–14.
- Papaix, J., Burdon, J.J., Zhan, J. y Thrall, P.H. (2015). Crop pathogen emergence and evolution in agro-ecological landscapes. *Evolutionary Applications*, 8(4), 385–402.
- Parrott, L. y Meyer, W.S. (2012). Future landscapes: managing within complexity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(7), 382–89.
- Perfecto, I., Armbrecht, I., Philpott, S.M., Soto-Pinto, L. y Dietsch, T.V. (2007). Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. In: T. Tschardtke, C. Leuschner, M. Zeller, E. Guhardja & A. Bidin (eds.), *Stability of tropical rainforest margins* (pp. 225–261). Springer.
- Perfecto, I. y Armbrecht, I. (2003). The Coffee agroecosystem in the neotropics: combining

- ecological and economic goals. En: J. H. Vandermeer (ed.), *Tropical Agroecosystems* (pp. 159–194). CRC Press.
- Perfecto, I. y Vandermeer, J. (2012). Separación o integración para la conservación de la biodiversidad: la ideología detrás del debate “land-sharing” frente a “land-sparing”. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2), 180–191.
- Perfecto, I. y Vandermeer, J. (2015). *Coffee Agroecology: A New Approach to Understanding Agricultural Biodiversity, Ecosystem Services and Sustainable Development*. Earthscan.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Hanson, P. y Cartín, V. (1997). Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 6(7), 935–945.
- Perfecto, I., Vandermeer, J. y Wright, A. (2009). *Nature’s Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty*. Londres: Earthscan.
- Peters, D.P.C., Bestelmeyer, B.T. y Turner, M.G. (2007). Cross-Scale interactions and changing pattern-process relationships: consequences for system dynamics. *Ecosystems*, 10, 790–796.
- Phalan, B., Onial, M., Balmford, A. y Green, R.E. (2011). Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, 333, 1289–1291.
- Poveda, K., Martínez, E., Kersch-Becker, M.F., Bonilla, M.A. y Tschardt, T. (2012). Landscape simplification and altitude affect biodiversity, herbivory and Andean potato yield. *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 513–22.
- Ramos, I. (2020). *La heterogeneidad espacial en regiones de México con distintas estrategias de producción y conservación: tendencias en el tiempo y su relación con la conservación de la biodiversidad* [tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Ramos, I., González González, C., Urrutia, A.L., Mora Van Cauwelaert, E. y Benítez, M. (2018a). Combined effect of matrix quality and spatial heterogeneity on biodiversity decline. *Ecological Complexity*, 36, 261–267.
- Ramos, I., González González, C., Urrutia, A.L., Mora Van Cauwelaert, E. y Benítez, M. (2018b). *Conservación en paisajes agrícolas*. Cartel para el Segundo Encuentro de Mujeres Matemáticas Mexicanas, en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 19 al 21 de abril de 2018. doi:10.6084/m9.figshare.9164312.v1
- Reis Madeiros, H., Martello, F., Almeida, E.A.B., Mengual, X., Harper, K.A., Campanholo, Y., Metzger, J.P., Abbud Righi, C. y Cezar Ribeiro, M. (2019). Landscape structure shapes the diversity of beneficial insects in coffee producing landscapes. *Biological Conservation*, 238, 1–12.
- Rosete-Vergés, F.A., Pérez-Damián, J.L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E.N., Salinas-Chávez, E. y Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y bosques*, 20(1), 21–35.
- Rosset, P. y Altieri, M.A. (2018). *Agroecología: Ciencia y política*. Fundación Tierra.
- Rosset, P.M., y Torres, M.E.M. (2016). Agroecología, territorio, recampesinización y movimientos sociales. *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 25(47), 273–299.
- Ruiz Medrano, E. (2011) Un breve recorrido bibliográfico por la historia de los pueblos zapotecos de Oaxaca. *Dimensión Antropológica*, 52, 57–80.
- Sánchez Colón, S., Flores Martínez, A., Cruz-Leyva, I.A. y Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En: R. Dirzo, R. González e I.J. March (comps.), *Capital natural de México, vol. II. Estado de conservación*

- y tendencias de cambio (pp. 75–129). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO].
- Saunders, D.A., Hobbs, R. J. y Margules, C. R.. (1991) Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. *Conservation Biology*, 1, 18–32.
- Sevilla Guzmán, E. & Woodgate, G. (2013). Agroecology: Foundations in agrarian social thought and sociological theory. *Agroecology & Sustainable Food Systems*, 37(1), 32–44.
- Sloan, S., Jenkins, C.N., Joppa, L.N., Gaveau, D.L.A. y Laurance, W.F. (2014). Remaining natural vegetation in the global biodiversity hotspots. *Biological Conservation*, 177, 12–24.
- Tapia-Armijos, M.F., Homeier, J., Espinosa, C.I., Leuschner, C. y De La Cruz, M. (2015). Deforestation and forest fragmentation in south Ecuador since the 1970s – Losing a hotspot of biodiversity. *PLoS ONE*, 10(9), 1–18.
- Teng, M., Zeng, L., Zhou, Z., Wang, P., Xiao, W. y Dian, Y. (2016). Responses of landscape metrics to altering grain size in the Three Gorges Reservoir landscape in China. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1055.
- Trejo, I. y Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, 94, 133–142.
- Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. y Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8, 857–874.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J.M., Rand, T.A., Didham, R.K., Fahrig, L., Batáry, P., Bengtsson, J., Clough, J., Crist, T.O., Dormann, C.F., Ewers, R.M., Fründ, J., Holt, R.D., Holzschuh, A., Klein, A. M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D.A., Laurance, W., ... Westphal, C. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biological Reviews*, 87(3), 661–685.
- Toledo, V.M. y Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural*. Barcelona: Icaria Editorial.
- Turner, M.G. (1990). Landscape changes in nine rural counties in Georgia. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56(3), 379–386.
- Turner, M.G., y Gardner, R.H. (2015). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process* (2nd ed.). New York: Springer.
- Turner, B.L., Moss, R.H. y Skole, D.L. (1993). *Relating land use and global land-cover change: A proposal for an IGBP-HDP core project. A report from the IGBP/HDP Working Group on Land-Use/Land-Cover Change*. Estocolmo: International Geosphere-Biosphere Programme, Royal Swedish Academy of Sciences.
- Urquijo Torres, P.S. y Barrera-Bassols, N. (2009). Historia y paisaje: Explorando un concepto geográfico monista. *Andamios*, 5(10), 227–252.
- Urrutia, A.L., González-González, C., Mora Van Cauwelaert, E., Rosell, J.A., García Barrios, L. y Benítez, M. (2020). Landscape heterogeneity of peasant-managed agricultural matrices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292, 106797.
- Vandermeer, J. (2011). *The Ecology of Agroecosystems*. Jones and Bartlett Publishers.
- Vandermeer, J. y Carvajal, R. (2001). Metapopulation dynamics and the quality of the matrix. *The American Naturalist*, 158(3), 211–220.
- Vandermeer, J. y Perfecto, I. (2007). The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. *Society for Conservation Biology*, 21(1), 274–277.
- Williams, R.J. y Martinez, N.D. (2000). Simple rules yield complex food webs. *Nature*, 404(6774), 180–183.

- Wu, J. (2004). Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relation. *Landscape Ecology*, 19, 125–138.
- Wu, J., Shen, W., Sun, W. y Tueller, P.T. (2002). Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecology*, 17, 761–782.
- Zhang, N. y Li, H. (2013). Sensitivity and effectiveness and of landscape metric scalograms in determining the characteristic scale of a hierarchically structured landscape. *Landscape Ecology*, 28, 343–363.

⊙ *Esta es una página en blanco.* ⊙

LA AGRICULTURA COMO UN COMPONENTE CRÍTICO PARA LA RESILIENCIA URBANA

Amy M. Lerner*

Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología,
Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS: Quisiera agradecer a mis colegas Lakshmi Charli Joseph y Ana E. Escalante del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad por sus comentarios y sugerencias en este escrito. Además agradezco a María Fernanda Sánchez por su creatividad y trabajo en la figura.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización está fuertemente ligado al cambio global. Por un lado, las ciudades generan 75 % de las emisiones de carbono y consumo de energía (Bai *et al.*, 2016) y por el otro, compiten con otros usos de suelo, incluyendo el agrícola. Sesenta por ciento de la producción agrícola de riego y 35 % de temporal se encuentra cerca de centros urbanos (Thebo *et al.*, 2014) y se estima que, para el año 2030, del 1.8 % al 2.4 % de la superficie agrícola se perderá por la expansión urbana (D'Amour *et al.*, 2017). Tras la historia de la urbanización está la idea de que los modos de vida y uso de suelo en las ciudades son opuestos a lo rural, agropecuario, y otros usos basados en recursos naturales. Esta percepción de conflicto entre la agricultura y la ciudad ha llevado a que los criterios con los que se determina o estima el uso de suelo urbano o agrícola sigan siendo poco claros y dependan, principalmente, de la densidad o número de personas en un área dada (Lerner & Eakin, 2011). Al mismo tiempo, implícitamente está el hecho de que la población urbana ya no realiza actividades agrícolas o basadas en los recursos naturales, mientras la zona peri-urbana, donde hay un mosaico de usos de suelo y actividades agrícolas y no-agrícolas, queda poco incorporada a la planeación urbana regional (Torres-Lima & Rodríguez-Sánchez, 2008; Aguilar, 2008).

Las ciudades, por esa separación de lo urbano, lo natural/rural y los flujos regionales, no han sido tradicionalmente consideradas como sistemas socio-ecológicos complejos (SSEC). Sin embargo, cada vez se presta más atención a la necesidad

* amy.lerner@ieciologia.unam.mx

de considerar a las ciudades como sistemas socio-ecológicos complejos por su papel en el consumo global y también por sus propios procesos y propiedades, los cuales impactan el bienestar de sus residentes y el medio ambiente (Bai *et al.*, 2016; Grimm *et al.*, 2013). El concepto del SSEC puede referirse a los procesos sociopolíticos, ambientales, económicos, y sus interacciones dentro de la zona urbana consolidada, pero también puede incluir áreas verdes, agrícolas y peri-urbanas, dentro y en los límites de la ciudad (McPhearson *et al.*, 2016). En otras palabras, aunque las definiciones de las ciudades suponen un uso de suelo y actividades no basadas en los recursos naturales y en la agricultura, dicha dicotomía no representa la realidad de muchas ciudades en el mundo, ni es tan útil cuando se analizan los flujos y procesos de las ciudades dentro y fuera de sus límites (Torres-Lima *et al.*, 2019).

La ciudad como un SSEC, entonces, implica una relación entre el medio ambiente, incluyendo los recursos naturales, y los procesos urbanos que ocurren dentro de sus límites. La presencia de agricultura urbana y peri-urbana está incluida dentro del SSEC urbano y, de hecho, está considerada como una actividad “multifuncional”; la agricultura cumple, simultáneamente, muchas funciones para la ciudad, incluyendo la provisión de una diversidad de servicios ecosistémicos como los culturales, hábitat de biodiversidad, fuentes de empleo y alimentos, entre otros (Lovell, 2010; Artmann & Sartison, 2018). Por lo tanto, en este capítulo se presenta la siguiente serie de argumentos: 1) la ciudad es un sistema socio-ecológico complejo, el cual incluye agricultura urbana y peri-urbana; 2) la existencia de la agricultura como parte del SSEC urbano es fundamental para su función y, por lo tanto, su resiliencia; 3) aunque la ciudad puede amenazar la agricultura urbana y peri-urbana, también puede representar una fortaleza a través de retroalimentaciones entre la producción y el consumo, y 4) para una mejor resiliencia urbana, se requiere repensar la dicotomía entre lo urbano y lo agrícola.

2. LA CIUDAD COMO UN SISTEMA SOCIO-ECOLÓGICO COMPLEJO

El enfoque de la ecología urbana tiene poco tiempo como un tema de interés en el mundo de la ecología, el urbanismo, la planeación urbana, la geografía, y otras disciplinas relacionadas. Empezó con la aplicación de conceptos empleados en la ecología de ecosistemas y de comunidades biológicas (tales como la competencia, invasión, etc.) en comunidades humanas urbanas a través de la Escuela de Chicago, en la década de 1920. Sin embargo, desde entonces, el tema de ecología urbana ha evolucionado al incluir no sólo los patrones de las interacciones humanas y su impacto en la organización de la ciudad, sino también al estudiar las relaciones entre los fenómenos sociales y el medio ambiente en la ciudad (Wu, 2014; Barthel & Isendahl, 2013). Además, el estudio de la ecología *en* la ciudad (organismos y ecosistemas dentro de los límites de la ciudad) se ha diferenciado de la ecología *de* la ciudad, que puede incluir interacciones entre lo social y lo ecológico y los patrones y procesos relacionado con los residentes urbanos y el paisaje que se encuentra en las zonas urbanas (Wu, 2014; Barthel & Isendahl, 2013; Grimm *et al.*, 2008).

El concepto de sistema socio-ecológico surgió, principalmente, gracias al trabajo de Elinor Ostrom y colaboradores, con la intención de capturar la relación entre los fenómenos sociales y ecológicos en una unidad de análisis dada, la cual se convierte en el sistema –por ejemplo, un sistema pesquero o un bosque con aprovechamiento forestal (Ostrom, 2009)–. Las interacciones entre los humanos y su ambiente ocurren a múltiples escalas y muchas veces son difíciles de modelar e integrar, pero hay varios enfoques que intentan la integración de lo social y ambiental (Levin *et al.*, 2012). Por ejemplo, la modelación de sistemas dinámicos puede capturar el aprovechamiento de ciertos recursos como árboles o peces para generar el manejo óptimo de un sistema, o quizás un cierto nivel de aprovechamiento puede empujar un sistema a otro estado, lo cual refleja dinámicas no-lineales (Levin *et al.*, 2012). En general, el estudio de SSEC tal como propone Ostrom (2009) está enfocado en sistemas de manejo relativamente sencillo y en donde se puede identificar claramente quiénes son los usuarios del sistema, los recursos naturales que existen y sus unidades de análisis, así como los principios que manejan o gobiernan esos sistemas (ej. reglas, normas, y organizaciones).

Las ciudades, sin embargo, no representan sistemas socio-ecológicos tradicionales. Los habitantes de la ciudad, por lo general, están desconectados de sus recursos naturales y no manejan directamente lo que consumen. Los recursos naturales y productos de consumo de las ciudades en su mayor parte vienen de fuera de la ciudad, justo de zonas donde se puede analizar la relación entre la sociedad y el medio ambiente con más claridad. Por lo tanto, la visión de una ciudad como un sistema SSEC incluye el sistema construido y técnico, lo socioeconómico, lo ecológico, y los múltiples actores que operan en la ciudad, pero también incluye retroalimentaciones con otras zonas rurales y peri-urbanas a múltiples escalas (Bai *et al.*, 2016).

3. RESILIENCIA URBANA

Dentro del lenguaje de sistemas socio-ecológicos se encuentra el enfoque o “lente” de resiliencia socio-ecológica, el cual también se origina en sistemas ecológicos, después en sistemas socio-ecológicos no urbanos, y más recientemente en sistemas socio-ecológicos urbanos (Meerow *et al.*, 2016). Si se piensa en la definición estricta del término resiliencia, ésta se asocia a la noción de recuperarse de algo. Varios campos y disciplinas siguen usando el concepto de resiliencia justo para reflejar la capacidad de algo de recuperarse de o resistir alguna perturbación, lo cual puede denotar rigidez (Folke, 2016). Pero si se piensa más profundamente en el concepto, realmente refleja la capacidad de las personas en su medio ambiente de no sólo enfrentar, aguantar o recuperarse, sino también de adaptarse, aprender, y aún transformar su sistema (Folke, 2016). Irónicamente, la resiliencia socio-ecológica indica cierta flexibilidad de un sistema; se refiere a la capacidad de aprender e innovar, en vez de una rigidez que podría estar asociada con resistir o seguir funcionando después de un disturbio.

El trabajo en resiliencia socio-ecológica empezó fundamentalmente en ecosistemas, planteando la idea de múltiples estados estables de los sistemas ecológicos

complejos y la capacidad de manejo de recursos naturales, dada una cierta incertidumbre y dinámicas no-lineales en el sistema. Con los años, el enfoque creció y atrajo a otras disciplinas y áreas para generar más ideas en torno a la resiliencia de sistemas socio-ecológicos y a las características que generan, no sólo resiliencia, sino también la sostenibilidad de sistemas socio-ecológicos (Young *et al.*, 2006). Además, el enfoque de resiliencia se ha expandido a sistemas dominados por los seres humanos, específicamente las ciudades (Ernstson *et al.*, 2010).

La teoría de resiliencia, central en el trabajo de sistemas socio-ecológicos, implica que hay ciertos “procesos y estructuras” que tienen retroalimentaciones que mantienen varios estados estables. Estos estados estables tienen la posibilidad de cambiar o “reorganizarse” frente a cambios lentos (“variables lentas”) y, en ocasiones, “shocks” (“variables rápidas”) al sistema (Ernstson *et al.*, 2010). Como eje central en el estudio de resiliencia existe el concepto de “equilibrio” y hasta qué punto hay un estado estable en un SSEC, particularmente en una ciudad. Por ejemplo, la ciudad puede tener varios estados estables o simplemente puede ser dinámica a tal grado que no se puede “recuperar” o “regresar” a un estado anterior porque siempre está en un proceso de cambio (Meerow *et al.*, 2016). Sin embargo, aunque una ciudad puede ser dinámica, hay “funciones deseadas” que se quisieran mantener dada una perturbación, como son los sistemas de transporte, de agua, y de energía, que son esenciales en la sostenibilidad urbana (Meerow *et al.*, 2016).

4. LA AGRICULTURA URBANA Y PERIURBANA Y SU MULTIFUNCIONALIDAD

La agricultura urbana y periurbana representan dos usos de suelo distintos dentro y en las periferias de la ciudad. La agricultura urbana tiende a estar concentrada en zonas centrales de la ciudad y puede establecerse en lotes no desarrollados o previamente desarrollados y abandonados, encima de edificios, en parques urbanos, en escuelas o en otros rincones de la ciudad construida. En cambio, la agricultura periurbana está en la periferia de la ciudad, donde hay una mezcla de usos de suelo y modos de vida agrícolas y no-agrícolas. Aunque hay una diversidad de expresiones de agricultura urbana y periurbana, en general cumplen con muchas funciones. Por ejemplo, estos espacios no sólo pueden servir como fuentes de ingreso para los usuarios, sino también proveen espacios comunitarios –ej. jardines comunitarios (Lawson, 2005)–, una forma de identidad y arraigo con la tierra (Zasada, 2011), una fuente de productos locales y frescos para una población urbana (Lerner & Eakin, 2011) y numerosos servicios ecosistémicos como es la filtración de agua al acuífero y hábitat para biodiversidad (Ackerman *et al.*, 2014). En efecto, la competencia de usos de suelo, en y alrededor de las ciudades, resulta en que la agricultura no podría existir si sólo fuera por su valor económico porque no podría competir con usos residenciales, comerciales e industriales y, por lo tanto, requiere generar múltiples valores y funciones para existir (Lovell, 2010; Zasada, 2011).

La importancia de la agricultura urbana y periurbana para el funcionamiento de la ciudad ha generado interés que se traduce en su inclusión en la planeación urbana. Por ejemplo, en Antananarivo, Madagascar se realizó un trabajo de pla-

neación con la incorporación de zonas agrícolas en la periferia (Aubry *et al.*, 2012). Además, se pueden orientar programas y políticas para motivar diferentes productos y funciones de la agricultura urbana y particularmente peri-urbana, como Vandermeulen *et al.* (2006) muestran con el ejemplo de Bélgica. La incorporación de la agricultura urbana en la zonificación, diseño, y planeación de las ciudades no es históricamente común, pero puede aprovechar los múltiples usos y funciones de agricultura para el bienestar ambiental y social (Lovell, 2010). A la vez, la ausencia de apoyo económico y político para la agricultura urbana y peri-urbana a través de instrumentos políticos y de planeación puede causar su deterioro (Olsson *et al.*, 2016).

5. EL PAPEL DE LA AGRICULTURA EN Y ALREDEDOR DE LA CIUDAD PARA UNA RESILIENCIA URBANA

La agricultura urbana y periurbana puede jugar un papel fundamental en la resiliencia de las ciudades, particularmente para ampliar las funciones de la ciudad en términos de servicios ecosistémicos y el bienestar ambiental y humano. Además, hay que recordar que la resiliencia de las ciudades implica una cierta flexibilidad (Folke, 2016), lo cual involucra la incorporación de una diversidad de usos de suelo dentro de la urbanidad. Ahern (2011) destaca cinco estrategias para generar resiliencia urbana y asegurar que, en las ciudades, en vez de tener el objetivo de planear para la estabilidad (*fail-safe*), se comprenda el dinamismo y el cambio que enfrentan en sus urbes (*safe to fail*). Estas estrategias incluyen: (i) multifuncionalidad, (ii) diversidad (social y biológica), (iii) redundancia, (iv) redes multiescalares y conectividad, y (v) diseño y planeación adaptativa. Dada la diversidad de formas de definir la resiliencia urbana, como bien mencionan Meerow y colegas (2016), estas estrategias son útiles para delimitar el concepto de la capacidad que tienen las ciudades para mantener funciones fundamentales para el bienestar humano y ambiental, adaptarse al cambio, y transformar sistemas que no fomentan la capacidad adaptativa futura (Meerow *et al.*, 2016, p. 45). Para efectos de este análisis, las estrategias propuestas por Ahern (2011) se pueden conceptualizar en términos del fomento, la conservación, y/o el apoyo de la agricultura urbana y periurbana, para contribuir a la resiliencia urbana (tabla 1).

Primero, una estrategia fundamental para la resiliencia urbana es la *multifuncionalidad*, particularmente la combinación de beneficios de cualquier uso del espacio. Considerar la resiliencia de la ciudad en términos de su potencial de seguir funcionando ante estresores y *shocks* implica que la ciudad, como un SSEC, tiene que poder enfrentar aumentos en temperatura, eventos de precipitación más intensos y escasez de agua, mientras sigue creciendo la población urbana (DeZeeuw *et al.*, 2011; Clinton *et al.*, 2018). En este sentido, las zonas urbanas tienen que repensar cómo integrar y proteger espacios verdes que puedan ayudar a regular la temperatura e infiltrar agua. Como se mencionó anteriormente, la agricultura urbana y periurbana pueden proveer estos servicios, entre otros, incluyendo formas alternativas de empleo (FAO, 2009). Por ejemplo, Barthel & Isendahl (2013) ilustran que las

Tabla 1: Resumen de las estrategias para la resiliencia urbana propuestas por Ahern (2011) y su vínculo a la agricultura urbana y periurbana.

Estrategia	Elemento de la agricultura urbana y periurbana
Multifuncionalidad	Servicios ecosistémicos (hábitat, infiltración de agua, recreación, alimentos, entre otros)
Diversidad (social y biológica)	Agrobiodiversidad para la demanda del consumidor urbano
Redundancia	Fuentes de alimentos de cadenas cortas frente a un sistema alimentario globalizado
Redes multiescalares y conectividad	Redes de semillas, de hábitat, y de biodiversidad
Diseño y planeación adaptativa	Enfoque sistémico de la planeación urbana, integración a la agricultura urbana y periurbana a planes urbanos

civilizaciones maya, en la península del Yucatán, y Constantinopla, en el imperio romano, formaron sus ciudades con la integración de la agricultura, lo cual generó “sistemas de soporte de vida” dentro y alrededor de los centros de población y, por lo tanto, resiliencia urbana. De la misma manera, el sistema socio-ecológico del humedal agrícola de Xochimilco, en la Ciudad de México, es un elemento fundamental para la resiliencia de la ciudad en términos de la provisión de alimentos, infiltración y retención de agua, hábitat de diversas especies, y recreación y apego cultural (Jiménez *et al.*, 2020). Aunque el humedal está en condiciones de deterioro, las múltiples funciones pueden ser una fuerza para su persistencia (Jiménez *et al.*, 2020).

Segundo, la ciudad resiliente tiene que fomentar la *diversidad social*. Es importante señalar que la dicotomía tradicional entre el campo y la ciudad es ideológica y no analítica (Gandy, 2002). Es decir, esa separación es simbólica y no necesariamente refleja la realidad de los usuarios y paisajes dentro y alrededor de las ciudades. Al contrario, el aumento en los proyectos de agricultura urbana a nivel global ilustra la naturaleza dinámica que tiene la ciudad (ej. Palmer, 2018; FAO, 2019). Además, los productores agrícolas se pueden mudar a la ciudad, la ciudad puede llegar al paisaje agrícola, o los residentes urbanos se pueden convertir en productores. Esta relación dinámica entre ciudad y campo también refleja el interés y deseo de producir y consumir productos frescos, aún en un ambiente pavimentado (urbano), lo cual es ejemplo de la importancia del valor socio-cultural de la agricultura (Lerner & Eakin, 2011). Por lo tanto, la agricultura urbana y periurbana implica una estrategia de diversidad social, incluyendo modos de vida y patrones y preferencias de consumo.

Asimismo, la *diversidad biológica* es otra característica importante. Por un lado, la ciudad, que puede representar una amenaza al campo que se encuentra en sus alrededores, también puede ser su fortaleza. En ese sentido, hay propiedades emergentes de la relación entre la ciudad y la agricultura urbana y periurbana. Por ejemplo, la agricultura alrededor de las ciudades puede ser más diversa y productiva, lo cual muestra que la ciudad puede fomentar una posible “intensificación sos-

tenible” (Zimmerer *et al.*, 2015). La cercanía a centros de consumo también puede fomentar la conservación de la agrobiodiversidad, a través de redes de producción y consumo de una diversidad de productos y sus variedades, lo cual representa una fuente de la agrobiodiversidad y, por lo tanto, otra estrategia para fomentar la resiliencia urbana (Zimmerer *et al.*, 2015).

Un ejemplo destacado de la conservación de agrobiodiversidad dentro o alrededor de las ciudades es la diversidad de maíz nativo de la Ciudad de México (CDMX). La CDMX es un ejemplo interesante porque dentro de los límites de la ciudad se encuentra más de 50% de la superficie como “suelo de conservación”, el cual engloba pueblos originarios y productores agrícolas que siembran tanto de forma tradicional como con variedades y técnicas más modernas. En el caso del maíz, se ha documentado que a pesar de la creciente presión urbana y cambio de uso de suelo, todavía existen maíces nativos, hasta 59 registros en las alcaldías periféricas del sur de la ciudad (Serratos Hernández *et al.*, 2014; SEDEREC, n.f.). El hecho de que el maíz nativo persista en la CDMX está ligado a varios motores, incluyendo el valor sociocultural de la producción y consumo de esos maíces, a tal grado que el gobierno de la CDMX destacó que la ciudad sirve como “guardiana” del maíz nativo (SEDEREC, n.f.). En efecto, se ha documentado que los huertos y solares familiares pueden ser fuentes importantes de agrobiodiversidad dentro y en los alrededores de las ciudades (Galluzzi *et al.*, 2010).

La tercera estrategia, la de *redundancia* en la ciudad para la resiliencia, también refleja la incorporación de la agricultura urbana y periurbana al tejido urbano. A través del tiempo, los alrededores de las ciudades dejaron de ser la fuente de alimentos para los habitantes urbanos, y se desarrolló la lógica de importar alimentos desde fuera de la ciudad y lugares que pueden ser más “eficientes” en términos de la comercialización y consumo de alimentos (Reardon & Berdegué, 2002). En efecto, el sistema alimentario se ha globalizado y comercializado hasta generar una brecha entre los consumidores (urbanos) y la fuente de su alimento; el patrón está aún más destacado entre el Norte Global (los que están comercializando) y el Sur (los que se urbanizan y pierden soberanía alimentaria) (McMichael, 2005). Sin embargo, dicho sistema de alimentos genera varios problemas, incluyendo más intermediarios y la pérdida de confianza en los productos, lo cual ha creado movimientos de redes alimentarias alternativas (*alternative food networks*; Renting *et al.*, 2012). Por lo tanto, la producción de alimentos dentro y en las afueras de la ciudad termina siendo una forma de redundancia en el sistema alimentario, que, aun sin ser suficiente para mantener a toda la población de una ciudad, ofrece una forma de “democratizar” el sistema alimentario y generar “ciudadanía alimentaria” (Renting *et al.*, 2012). En este sentido, la agricultura urbana y periurbana sirve como un elemento de redundancia para la seguridad alimentaria urbana, lo cual aumenta la resiliencia ante estresores y *shocks* del sistema (Zasada, 2011).

La cuarta estrategia, la *conectividad y redes multiescalares*, tal como propone Ahern (2011) refieren a vías multipropósito de transporte (ej. bicicletas, transporte público) y también vías verdes que pueden conectar áreas verdes de la ciudad con zonas naturales a las afueras. Sin embargo, la agricultura puede integrarse a estas

vías. Un ejemplo famoso son los lotes alemanes (*Schrebergärten*) que quedan en las afueras de las ciudades y proveen 1.24 millones de lotes pequeños para que los habitantes de la ciudad puedan salir el fin de semana a sembrar, cosechar, y estar en un espacio compartido, lleno de diversas personas y plantas y que, normalmente, es accesible por medio del transporte público (Slatalla, 2013). Además, sistemas de jardines y huertos generan redes de productores e intercambio de semillas, lo cual conecta diferentes productores y variedades de cultivos (Zimmerer *et al.*, 2015). A la vez, la agricultura urbana y periurbana crea redes de hábitat de insectos, plantas y otros animales; se estimó que en el Reino Unido hay 1,000 especies de plantas en jardines urbanos, más que en otros tipos de hábitat en el país, mientras en la ciudad de Nueva York se encontraron 54 especies de abejas en jardines urbanos (Lin *et al.*, 2015). Estos ejemplos demuestran la capacidad que tiene la agricultura urbana y periurbana para proveer hábitat y fomentar redes de biodiversidad y agrobiodiversidad dentro y alrededor de las ciudades.

Finalmente, Ahern (2011) destaca que el *diseño y planeación adaptativa* son clave para una ciudad resiliente, y particularmente el hecho de que hay que tener una gestión adaptativa para eventos no esperados en sistemas complejos (Kato & Ahern, 2008). Es decir, hay que tener una flexibilidad en la planeación y manejo de ciudades para enfrentar la incertidumbre del futuro. Tradicionalmente, la planeación adaptativa en términos de agricultura se encuentra en el contexto de cambio climático y de la incertidumbre profunda que existe en las proyecciones de impactos y las acciones consecuentes necesarias para enfrentar el clima cambiante (Vermeulen *et al.*, 2013). En el contexto de la agricultura urbana y periurbana, aunque el cambio climático es un factor importante, los factores de corto plazo que afectan más a los sistemas productivos son la presión y la competencia urbanas, la pérdida de mano de obra, los cambios en el acceso a los mercados para productos y sus precios, la falta de apoyos y recursos gubernamentales, y las restricciones biofísicas para la producción (ej. fertilidad del suelo) (Artmann & Sartison, 2018). Por otro lado, la planeación adaptativa para las ciudades se concentra en acciones para reducir los impactos de eventos extremos climáticos, y no necesariamente con un enfoque en la incorporación de agricultura a la ciudad (Ahern *et al.*, 2014; Birkmann *et al.*, 2010). Para desarrollar una planeación adaptativa que integre la agricultura urbana y periurbana, se requiere el fomento de espacios de capacitación, educación, intercambio, y reconocimiento de la producción de alimentos, en y alrededor de las ciudades, en la planeación y gestión de las ciudades.

En suma, la agricultura urbana y periurbana actúa como un elemento integrador de la resiliencia urbana (figura 1). El potencial que tiene la ciudad para enfrentar *shocks* y estresores, transformarse y adaptarse ante condiciones cambiantes e inesperadas, se logrará con una mejor integración de los sistemas agrícolas dentro y fuera de las ciudades, lo cual implica un enfoque sistémico regional para la sostenibilidad urbana (Bai *et al.*, 2016). Se puede observar que las estrategias mencionadas con anterioridad ocurren simultáneamente y de manera acoplada. Es decir, la redundancia que genera la agricultura urbana y periurbana para el sistema alimentario urbano también fomenta múltiples beneficios ecosistémicos y flexibi-

lidad para eventos inesperados, futuros climáticos, económicos, de salud, entre otros. La capacidad integradora de la agricultura en el contexto urbano no debe ser subestimada, y particularmente su potencial para generar resiliencia para las ciudades.

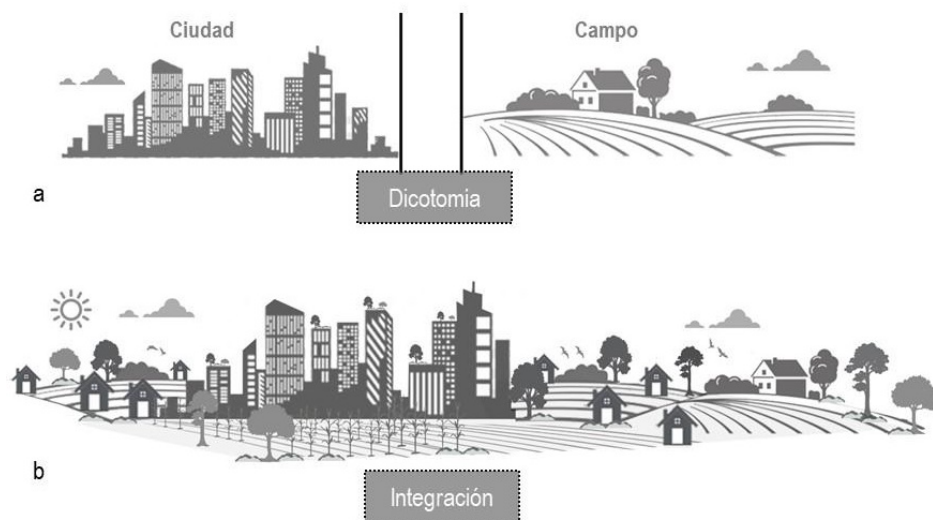


Figura 1: Una forma visual de imaginar la diferencia entre una ciudad separada de actividades agrícolas (a) y una ciudad resiliente con la agricultura integrada a la planeación urbana (b). Diseño: María Fernanda Sánchez.

6. CONCLUSIONES

El valor comparativo del uso de suelo urbano (residencial, comercial, o industrial) frente al uso agrícola implica que no es necesariamente lógico encontrar la producción agrícola dentro y alrededor de las ciudades. Sin embargo, lo que se observa es que no sólo hay 800 millones de personas en el mundo involucradas en la agricultura urbana (FAO, 2019), sino que en algunos casos la agricultura urbana y periurbana es estable o incluso en crecimiento (Palmer, 2018). Los beneficios son numerosos y han sido mencionados en este escrito y en varios otros (Artmann & Sartison, 2018; DeZeeuw *et al.*, 2011; Olsson *et al.*, 2016; Lovell, 2010).

Lo anterior implica que la ciudad tiene un proceso constante de cambio y no necesariamente hay un proceso lineal de perder agricultura mientras se urbaniza. En otras palabras, la ciudad no tiene un solo estado estable, a pesar de su necesidad de conservar ciertas funciones para el bienestar de sus habitantes. Sin embargo, existen posibles umbrales en los que la ciudad podría dejar de proveer aire y agua de calidad para sus residentes, por ejemplo, o que los alimentos aumenten tanto en

precio que la mayoría de los habitantes no puedan acceder a ellos. Por otra parte, la conservación y el fomento de paisajes de agricultura urbana y periurbana a lo mejor están asociados con un aumento del número de personas trabajando en la provisión de alimentos, lo cual tradicionalmente ha sido un modo de vida y uso de suelo no urbano. En este sentido, la ciudad no puede “regresar” a un estado anterior, sino evolucionar hacia estados más o menos deseables. Cabe señalar que el estudio de umbrales y cambio de estados o regímenes generalmente no se ha enfocado en las ciudades, por lo que todavía no está claro cómo medir o cómo identificar estados urbanos deseables, ni umbrales de cambio a otros estados (Rocha *et al.*, 2015).

Finalmente, hay que descartar la idea de que la ciudad es la antítesis de la agricultura, como bien señalan Barthel & Isendahl (2013). La separación entre el consumidor urbano y la fuente de sus alimentos es uno de los problemas más graves para una seguridad alimentaria sostenible, particularmente cuando las cadenas largas de la producción y consumo de los alimentos sufren alguna perturbación como consecuencia de crisis climáticas, económicas, sociopolíticas o de la salud. La agricultura tiene que ser revalorizada en y alrededor de las ciudades para que las relaciones y flujos entre producción y consumo sean explícitas. La integración de la agricultura multifuncional urbana, entonces, formará parte de un paisaje urbano resiliente.

REFERENCIAS

- Ackerman, K., Conard, M., Culligan, P., Plunz, R., Sutto, M.P. & Whittinghill, L. (2014). Sustainable Food Systems for Future Cities: The Potential of Urban Agriculture. *Economic and Social Review*, 45(2), 189–206.
- Aguilar, A. G. (2008). Peri-Urbanization, Illegal Settlements and Environmental Impact in Mexico City. *Cities*, 25(3), 133–45. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2008.02.003>
- Ahern, J. (2011). From *fail-safe* to *safe-to-fail*: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341–43. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.021>
- Ahern, J., Cilliers, S. & Niemelä, J. (2014). The Concept of Ecosystem Services in Adaptive Urban Planning and Design: A Framework for Supporting Innovation. *Landscape and Urban Planning*, 125, 254–59. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.020>
- Artmann, M. & Sartison, K. (2018). The Role of Urban Agriculture as a Nature-Based Solution: A Review for Developing a Systemic Assessment Framework. *Sustainability*, 10(6), 1937. <https://doi.org/10.3390/su10061937>
- Aubry, C., Ramamonjisoa, J., Dabat, M.H., Rakotoarisoa, J., Rakotondraibe, J. & Rabeharisoa, L. (2012). Urban Agriculture and Land Use in Cities: An Approach with the Multi-Functionality and Sustainability Concepts in the Case of Antananarivo (Madagascar). *Land Use Policy*, 29, 429–39. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.08.009>
- Bai, X., Surveyer, A., Elmqvist, T., Gatzweiler, F.W., Güneralp, B., Parnell, S., Prieur-Richard, A.H., Shrivastava, P., Siri, J.G., Stafford-Smith, M., Toussaint, J.-P. & Webb, R. (2016).

- Defining and Advancing a Systems Approach for Sustainable Cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 23, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.010>
- Barthel, S. & Isendahl, C. (2013). Urban Gardens, Agriculture, And Water Management: Sources of Resilience for Long-Term Food Security in Cities. *Ecological Economics*, 86, 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.06.018>
- Birkmann, J., Garschagen, M., Kraas, F. & Quang, N. (2010). Adaptive Urban Governance: New Challenges for the Second Generation of Urban Adaptation Strategies to Climate Change. *Sustainability Science*, 5, 185–206. <https://doi.org/10.1007/s11625-010-0111-3>
- Clinton, N., Stuhlmacher, M., Miles, A., Uludere A., N., Wagner, M., Georgescu, M., Herwig, C. & Gong, P. (2018). A Global Geospatial Ecosystem Services Estimate of Urban Agriculture. *Earth's Future*, 6, 40–60. <https://doi.org/10.1002/2017EF000536>
- D'Amour, C.B., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K.H., Haberl, H., Creutzig, F. & Seto, K.C. (2017). Future Urban Land Expansion and Implications for Global Croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(34), 8939–8944. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606036114>
- DeZeeuw, H., Van Veenhuizen, R. & Dubbeling, M. (2011). The Role of Urban Agriculture in Building Resilient Cities in Developing Countries. *Journal of Agricultural Science*, 149, 153–63. <https://doi.org/10.1017/S0021859610001279>
- Ernstson, H., van der Leeuw, S.E., Redman, C.L., Meffert, D.J., Davis, G., Alfsen, C. & Elmqvist, T. (2010). Urban Transitions: On Urban Resilience and Human-Dominated Ecosystems. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 39, 531–45. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0081-9>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2009). *Alimentos para las ciudades*. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/012/ak824s/ak824s00.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2019). *FAO framework for the Urban Food Agenda*. <https://doi.org/10.4060/ca3151en>
- Folke, C. (2016). Resilience (Republished). *Ecology and Society*, 21(4), 44. <https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444>
- Galluzzi, G., Eyzaguirre, P. & Negri, V. (2010). Home Gardens: Neglected Hotspots of Agro-Biodiversity and Cultural Diversity. *Biodiversity and Conservation*, 19, 3635–3654. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9919-5>
- Gandy, M. (2002). *Concrete and Clay: Reworking Nature in New York City*. The MIT Press.
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X. & Briggs, J. M. (2008). Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 319(5864), 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- Grimm, N.B., Redman, C.L., Boone, C.G., Childers, D.L., Harlan, S.L. & Turner, B.L. (2013). Viewing the Urban Socio-Ecological System through a Sustainability Lens: Lessons and Prospects from the Central Arizona-Phoenix LTER Programme. In: S. Singh, H. Haberl, M. Chertow, M. Mirtl & M. Schmid (eds.), *Long Term Socio-Ecological Research: Studies in Society-Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales* (pp. 217–246). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1177-8_10
- Jiménez, M., Pérez-Belmont, P., Schewenius, M., Lerner, A.M. & Mazari-Hiriart, M. (2020). Assessing the Historical Adaptive Cycles of an Urban Social-Ecological System and Its Potential Future Resilience: The Case of Xochimilco, Mexico City. *Regional Environmental Change*, 20(7). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01587-9>

- Kato, S. & Ahern, J. (2008). 'Learning by Doing': Adaptive Planning as a Strategy to Address Uncertainty in Planning. *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(4), 543–559. <https://doi.org/10.1080/09640560802117028>
- Lawson, L. (2005). *City Bountiful: A Century of Community Gardening in America*. University of California Press.
- Lerner, A.M. & Eakin, H. (2011). An Obsolete Dichotomy? Rethinking the Rural-Urban Interface in Terms of Food Security and Production in the Global South. *Geographical Journal*, 177(4), 311–320. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2010.00394.x>
- Levin, S., Xepapadeas, T., Crépin, A.S., Norberg, J., De Zeeuw, A., Folke, C., Hughes, T., Arrow, K., Barrett, S., Daily, G., Ehrlich, P., Kautsky, N., Mäler, K.G., Polasky, S., Troell, M., Vincent, J.R. & Walker, B. (2012). Social-ecological systems as complex adaptive systems: modeling and policy implications. *Environment and Development Economics*, 18(2), 111–132. <https://doi.org/10.1017/S1355770X12000460>
- Lin, B.B., Philpott, S.M. & Jha, S. (2015). The Future of Urban Agriculture and Biodiversity-Ecosystem Services: Challenges and next Steps. *Basic and Applied Ecology*, 16(3), 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.01.005>
- Lovell, S. T. (2010). Multifunctional Urban Agriculture for Sustainable Land Use Planning in the United States. *Sustainability*, 2(8), 2499–2522. <https://doi.org/10.3390/su2082499>
- McMichael, P. (2005). Global Development and The Corporate Food Regime. In: F.H. Buttel & P. McMichael (eds.), *New Directions in the Sociology of Global Development* (Research in Rural Sociology and Development, Vol. 11) (pp. 265–299). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1016/S1057-1922\(05\)11010-5](https://doi.org/10.1016/S1057-1922(05)11010-5)
- McPhearson, T., Pickett, S.T.A., Grimm, N.B., Niemelä, J., Alberti, M., Elmquist, T., Weber, C., Haase, D., Breuste, J. & Qureshi, S. (2016). Advancing Urban Ecology toward a Science of Cities. *BioScience*, 66, 198–212. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw002>
- Meerow, S., Newell, J.P. & Stults, M. (2016). Defining Urban Resilience: A Review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- Olsson, E.G.A., Kerselaers, E., Søderkvist Kristensen, L., Primdahl, J., Rogge, E., & Wästfelt, A. (2016). Peri-Urban Food Production and Its Relation to Urban Resilience. *Sustainability*, 8, 1340. <https://doi.org/10.3390/su8121340>
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325, 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Palmer, L. (2018). Urban agriculture growth in US cities. *Nature Sustainability*, 1, 5–7. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0014-8>
- Reardon, T. & Berdegue, J.A. (2002). The Rapid Rise of Supermarkets in Latin America: Challenges and Opportunities for Development. *Development Policy Review*, 20(4), 371–388. <https://doi.org/10.1111/1467-7679.00178>
- Renting, H., Schermer, M. & Rossi, A. (2012). Building Food Democracy: Exploring Civic Food Networks and Newly Emerging Forms of Food Citizenship. *International Journal of Sociology of Agriculture and Food*, 19(3), 289–307.
- Rocha, J.C., Peterson, G.D. & Biggs, R. (2015). Regime Shifts in the Anthropocene: Drivers, Risks, and Resilience. *PLoS ONE*, 10(8), e0134639. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134639>

- SEDEREC (Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades) (n.f.) CDMX, *guardiana del maíz nativo*. Gobierno de la Ciudad de México. <https://www.sepi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/cdmx-guardiana-del-maiz-nativo.pdf>
- Serratos Hernández, J.A., Morales Valderrama, C., Castillo González, F., Kato Yamakake, T.A. & Gómez Olivares, J.L. (2014). Conservación y protección del maíz nativo en el Distrito Federal frente a la liberación de maíz transgénico en México. En: J.L. Vera, F. López, M. Anguiano y X. Lizárraga (coords.), *Temas de la antropología mexicana*, Vol. II, (pp. 287–349). Academia Mexicana de Ciencias Antropológicas, A.C.
- Slatalla, M. (2013, 31 de marzo). Germany's Rent-A-Gardens. *Gardenista*. <https://www.gardenista.com/posts/germanys-rent-a-gardens/>
- Thebo, A.L., Drechsel, P. & Lambin, E.F. (2014). Global Assessment of Urban and Peri-Urban Agriculture: Irrigated and Rainfed Croplands. *Environmental Research Letters*, 9, 114002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/114002>
- Torres-Lima, P., Pinel, S.L. & Conway-Gómez, K. (2019). Adaptive Governance for Resilience of Peri-Urban Socioecological Systems. In: G. Brunetta, O. Caldarice, N. Tollin, M. Rosas-Casals and J. Morató (eds.), *Urban Resilience for Risk and Adaptation Governance* (pp. 43–58). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-76944-8>
- Torres-Lima, P. & Rodríguez-Sánchez, L. (2008). Farming Dynamics and Social Capital: A Case Study in the Urban Fringe of Mexico City. *Environment, Development and Sustainability*, 10, 193–208.
- Vandermeulen, V., Verspecht, A., Van Huylenbroeck, G., Meert, H., Boulanger, A. & Van Hecke, E. (2006). The Importance of the Institutional Environment on Multifunctional Farming Systems in the Peri-Urban Area of Brussels. *Land Use Policy*, 23, 486–501. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2005.06.002>
- Vermeulen, S.J., Challinor, A.J., Thornton, P.K., Campbell, B.M., Eriyagama, N., Vervoort, J.M., Kinyangi, J., Jarvis, A., Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Nicklin, K.J., Hawkins, E. & Smith, D.R. (2013). Addressing Uncertainty in Adaptation Planning for Agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(21), 8357–8362. <https://doi.org/10.1073/pnas.1219441110>
- Wu, J. (2014). Urban Ecology and Sustainability: The State-of-the-Science and Future Directions. *Landscape and Urban Planning*, 125, 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>
- Young, O.R., Berkhout, F., Gallopin, G.C., Janssen, M.A., Ostrom, E. & van der Leeuw, S. (2006). The Globalization of Socio-Ecological Systems: An Agenda for Scientific Research. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 16(3), 304–16.
- Zasada, I. (2011). Multifunctional Peri-Urban Agriculture—A Review of Societal Demands and the Provision of Goods and Services by Farming. *Land Use Policy*, 28, 639–648. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.01.008>
- Zimmerer, K.S., Carney, J.A. & Vanek, S.J. (2015). Sustainable Smallholder Intensification in Global Change? Pivotal Spatial Interactions, Gendered Livelihoods, and Agrobiodiversity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.03.004>

⊙ *Esta es una página en blanco.* ⊙

SISTEMAS COMPUTACIONALES INTELIGENTES EN AGROECOLOGÍA

Yanus Andrés Dechnik Vázquez*

Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

AGRADECIMIENTOS: Agradezco a Tlacaelel Rivera-Núñez y Mariana Benítez por la oportunidad de participar en este libro y sus valiosos aportes al escrito. Agradezco asimismo a los revisores y a los demás involucrados en la revisión y edición de la publicación donde aparece este trabajo.

FINANCIAMIENTO: La investigación que refiere en el cuerpo argumentativo de este trabajo fue realizada con fondos provenientes de una beca CONACYT [440725-1065] y por el proyecto “Agricultura Familiar” de ECOSUR [2015-2018].

1. INTRODUCCIÓN

El quehacer agroecológico, así como el quehacer agronómico más habitual, requiere la toma de decisiones eficiente e informada. Esta toma de decisiones implica la síntesis de información de diferentes tipos, desde la información “a ras de suelo”; dígase la experiencia de aquellos que conviven con el sistema de cultivo, así como información proveniente de otras fuentes, como expertos en el tipo específico de plantación, biólogos, edafólogos, y también información de variables económicas, etc. Esto involucra ponderar la importancia de estas fuentes de información y decidir un curso de acción

Tal tipo de dilemas es ubicuo en la vida real. Para confrontar la dificultad de tal toma de decisiones o facilitarla, se han desarrollado los *sistemas computacionales inteligentes*; programas diseñados para recibir información y emitir una respuesta, que imitan de forma automática la toma de decisiones de las personas (Hopgood, 2012). Un árbol de decisiones SI/NO es un tipo básico de sistema inteligente. Matemáticas ingeniosas como lógicas formales diferentes a la lógica binaria se han desarrollado para tratar de imitar la inteligencia humana en la resolución de problemas. Otros métodos son capaces de “aprender” por sí solos, por medio de la ponderación sucesiva de diferentes tipos de información.

* El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Bo. Ma. Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, México. Tel. 967 67 49000, ext. 1418. / yanusd@gmail.com

Hay dentro de la agronomía clásica, especialmente dentro de la llamada agricultura de precisión (Gebbers & Adamchuk, 2010), varias propuestas de enriquecer el proceso de toma de decisiones mediante el uso de este tipo de sistemas (Jiménez *et al.*, 2008; Zaks & Kucharik, 2011). ¿Y la agroecología? ¿Por qué sería útil usar este tipo de metodologías en agroecología? Debido a la naturaleza diversa de la práctica dentro esta disciplina. Al contrario de la tendencia comúnmente homogeneizadora de la agronomía moderna, en la agroecología la norma es la singularidad de detalles de cada sistema productivo. Pero es esta misma diversidad la que introduce dificultad. En la práctica, monitorear y controlar el estado de muchos cultivos/actividades diferentes es una tarea difícil. Por esto la automatización es deseable. En los problemas demasiado intrincados para decidir de forma exacta, este tipo de sistemas es capaz de arrojar soluciones aproximadas que resuelvan la necesidad de tener una respuesta concreta, pudiendo hacer uso de información inicial de carácter cualitativo. Esta forma de transformar información cualitativa y volverla cuantitativa de forma rápida es una propiedad deseable dentro de la agroecología.

Asimismo, el uso del saber humano campesino es clave para conseguir un balance ecológico de los métodos de producción, aprovechando saberes a “ras de suelo”. Los sistemas inteligentes tienen la capacidad inherente de ser capaces de actualizarse con todo tipo de información para el proceso de decisión, incluidos estos saberes. Es posible integrar la experiencia de productores y campesinos en sistemas de toma de decisiones rigurosos, por ejemplo, para lograr automatizar o informar decisiones que sean importantes para la cadena del sistema de producción agroecológico (como decidir la cantidad de terreno necesaria para cultivar cada planta), o también por ejemplo para acelerar el discernimiento de especies arvenses o importantes para el sistema de producción (Dechnik-Vázquez *et al.*, 2019).

Los sistemas inteligentes son un tipo de metodología *heurística* para la agroecología. Los métodos heurísticos intentan obtener soluciones aproximadas a problemas donde la solución exacta sería muy difícil de obtener. Estos métodos son adecuados para representar sistemas donde hay muchas variables relacionadas de formas no-lineales. En el caso de la agroecología, los sistemas de producción cambian sus condiciones año por año, ya sea por condiciones climáticas variables, por cambios en el mercado, por cambios en las estructuras económicas de las familias, etc. Armados con esta información muy variable e imprecisa, los sistemas inteligentes pueden ayudarnos a desenmarañar y atender los problemas de tales sistemas. Enfrentados ante un problema tan complejo como el manejo de plagas, es extremadamente útil tener sistemas que rápidamente dilucidan cuáles elementos son cruciales, ya sea para objetivos prácticos o académicos. El espíritu de este enfoque es similar a la reconstrucción de relaciones entre variables en sistemas caóticos mediante métodos como el teorema de Takens (Vandermeer y Perfecto, 2018). Aunque puede ser argumentado que esto no equivale a una verdadera comprensión científica, de todos modos es innegable que es un primer paso útil para saber qué cosas están relacionadas con otras. La introducción de inteligencia artificial para la toma de decisiones en agricultura ha sido discutida desde hace tiempo (McKi-

nion y Lemmon, 1985). Bannerjee *et al.* (2018) reconocen 6 categorías donde se han usado sistemas inteligentes para apoyo en la agricultura: 1) manejo general de cultivos; 2) manejo de plagas; 3) monitoreo de productos; 4) manejo de irrigación y suelo; 5) manejo de arvenses; 6) predicción de rendimiento.

2. DESARROLLO TEÓRICO

¿Cómo funciona a rasgos generales un sistema inteligente? En general, la estrategia es mapear un conjunto de entrada X a un conjunto de salida Y . Usando diferentes metodologías, se construyen entramados lógicos y/o matemáticos que relacionan las variables en estos dos conjuntos. Este actuar imita en esencia la manera en que los seres humanos toman decisiones y básicamente todas las técnicas para apoyar la toma de decisiones se basan en hacer asociaciones entre entradas y salidas de información (figura 1).

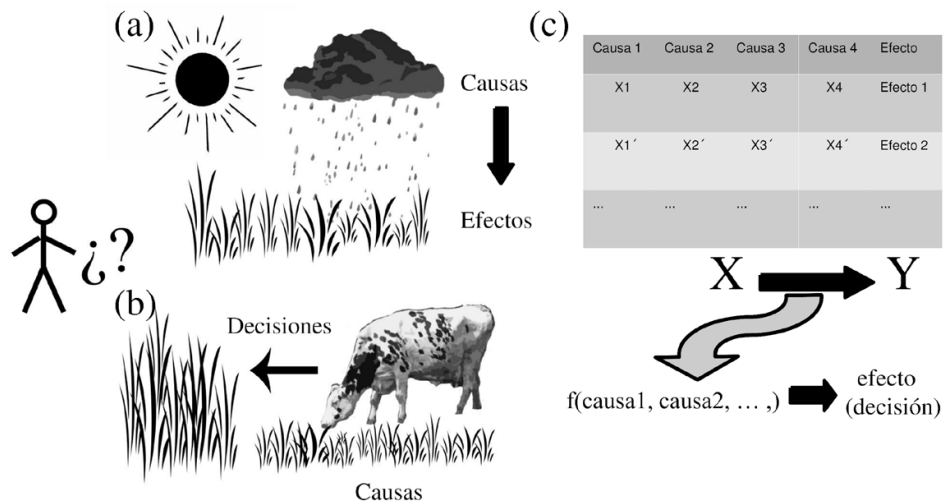


Figura 1: Relación entre el razonamiento humano y el razonamiento artificial. La lógica de los sistemas computacionales inteligentes pretende imitar la forma en que los seres humanos toman decisiones. (a) Enfrentado a los problemas que representa lograr cosechar algún cultivo de interés, campesinos y agricultores asocian en su mente diversas variables a los fines que persiguen, como lo puede ser mejorar el crecimiento de sus plantas. Un productor entiende que ciertas combinaciones de los factores de entrada, como más agua o luz solar, provocan un cambio en el rendimiento final. Asimismo, cuando éste tiene que tomar decisiones, como cambiar de parcela a su ganado porque el pasto ya es abundante (b), igualmente realiza un mapa mental y así procede a emprender distintas acciones. Todo esto finalmente se puede abstraer como un proceso (c) en el cual diferentes combinaciones de las causas o variables de entrada se asocian a una respuesta o salida Y . Esta relación en el fondo no es más que una función matemática que liga ciertas causas con un efecto particular, y es finalmente lo que los sistemas inteligentes pretenden imitar.

Existen varios tipos de metodologías computacionales que pueden considerarse como sistemas inteligentes. Estas pueden clasificarse ampliamente en 3 categorías: sistemas basados en bases de conocimiento explícito, inteligencia computacional e híbridos de éstos dos (Hopgood, 2012).

2.1 Sistemas basados en conocimiento explícito

Los sistemas basados en conocimiento explícito son metodologías en las que el conocimiento está proporcionado de forma directa y de antemano, y el programa lo que hace es acceder a éste y buscar respuestas a situaciones concretas, sin que haya otro conocimiento implícito dentro de la operación del programa. Esta separación de la base de conocimientos y el programa o rutina que la consulta es útil porque permite actualizar constantemente la base de datos.

El tipo principal de sistema con conocimiento explícito son los *sistemas inteligentes basados en reglas*. En un sistema basado en reglas, la representación del problema se basa en relaciones entre dos elementos; si pasa *A*, entonces *B*. Esta es la forma más sencilla de relacionar dos eventos, mediante una regla o reglas que dicen cómo actuar en varias situaciones. Son útiles cuando los problemas requieren de conocimiento intensivo y son de aplicación generalmente estrecha: cuando se requiere de respuestas rápidas en situaciones concretas.

Un sistema inteligente basado en reglas tiene al menos 2 partes esenciales: una base de conocimiento y un medio de inferencia. La base de conocimiento contiene la información usada para resolver problemas y el medio de inferencia usa esta información para proveer de soluciones. La representación del conocimiento se hace comúnmente de 3 formas principales: mediante reglas escritas, por redes de inferencia, y con redes semánticas. Las reglas son simplemente instrucciones que relacionan conceptos, escritas explícitamente. Las redes de inferencia son una representación del conocimiento en la cual los conceptos se combinan lógicamente por medio de operadores "y", "o" y la negación. Las redes semánticas son, como su nombre lo dice, redes con nodos que representan conceptos, objetos o situaciones, y conexiones entre estos. Estas conexiones pueden ser procedimientos, datos, o indicaciones para referirse a otras partes de la misma red. Los sistemas basados en reglas se operan de tres formas principales: 1) deducción, que se refiere a inferir efectos de acuerdo a causas estipuladas aunadas a las reglas dentro de la base de conocimiento; 2) abducción, en el sentido contrario de la anterior, se trata de inferir causas basados en los efectos y las reglas; y 3) inducción, inferir reglas a partir de las causas y los efectos (Hopgood, 2012).

Dentro de los sistemas basados en reglas, los *sistemas expertos* son aquellos que además de la base de conocimiento y el medio de inferencia, tienen componentes adicionales como un módulo de adquisición de conocimiento y memoria de trabajo para ir actualizando la base de conocimientos. El fin de éstos es imitar el actuar de expertos humanos dentro de un campo de conocimiento particular.

Ya que muchas decisiones para resolver un problema involucran trabajar con información imprecisa, se han inventado métodos para incorporar probabilidad en los sistemas basados en reglas, ya sea mediante la incorporación de probabili-

dad bayesiana o mediante tipos diferentes de lógica matemática como la llamada lógica difusa; ésta es un sistema de lógica en que puede haber valores de verdad intermedios entre el verdadero y el falso, y que se representan como números entre el 0 y 1 (Nguyen *et al.*, 2019). Este modo de razonamiento permite emitir respuestas aproximadas a problemas donde la información de entrada es ambigua, como por ejemplo, predecir el estado del tiempo durante el día usando la información del estado del tiempo en la mañana. La lógica difusa puede ser de tipo 1 y de tipo 2. Los sistemas de inferencia más comunes del tipo 1 incluyen los llamados sistemas de inferencia de Mandami y los sistemas de inferencia de Takagi-Sugeno-Kang (Sabri *et al.*, 2013). La lógica difusa tipo 2 fue un desarrollo posterior (Castillo *et al.*, 2007) que amplía la definición de lo que es un conjunto difuso, haciendo posible capturar la incertidumbre de fenómenos más complicados y hacer sistemas de inferencia más precisos.

2.2 Inteligencia computacional

Dentro de la inteligencia computacional están aquellas metodologías donde el mismo sistema inteligente va adaptándose y hallando la respuesta a los problemas que se le proporcionan (en contraste con el conocimiento explícito, donde todo se dispone *a priori*). Los métodos dentro de la inteligencia computacional son los siguientes (Hopgood, 2012):

Algoritmos evolutivos. El nombre de algoritmos evolutivos es un nombre general para procedimientos computacionales donde las reglas evolucionan con el tiempo y se adaptan a los datos de entrada, y el sistema va encontrando paulatinamente la mejor respuesta a los problemas que se intentan solucionar. Son inspirados en particular por el proceso de selección natural aplicado a la optimización matemática: una población de “soluciones candidato” evoluciona paulatinamente hacia un óptimo; se genera una población de soluciones y se evalúa qué tan buenas son. Si no hay soluciones aceptables, algunas de estas se usan como “progenitores” para dar lugar a combinaciones adicionales con nuevas “mutaciones” o cambios. A continuación se examinan de nuevo estas respuestas para corroborar su validez como soluciones. El proceso se repite hasta que se llega a una solución satisfactoria al problema.

Redes neuronales. Una red neuronal es un tipo de sistema inteligente en el que tenemos una red de valores iniciales unidos a una salida numérica (de la cual queremos obtener un valor específico, que representa la respuesta que deseamos). Al contrastar la red con datos, dentro de ésta se van reforzando relaciones entre los números que la componen, respondiendo a las frecuencias con las que diferentes fenómenos aparecen ligados o disyuntos en estos datos. Esto lleva a que los valores iniciales creen relaciones numéricas entre ellos y se ordenen, aproximando numéricamente soluciones en la salida o respuesta.

Las redes neuronales son particularmente adecuadas para problemas en los que hay muchas relaciones poco claras entre elementos que se relacionan con una variable de interés. Un conjunto de datos de entrada crean relaciones con una respuesta de forma automática. En el contexto agroecológico, es necesario descubrir

qué elementos son los más relevantes dentro del agroecosistema. Pero siendo éstos sistemas complejos con alta variabilidad y localidad, se necesitan herramientas más allá de regresiones lineales para descubrir las relaciones entre variables. Las redes neuronales son muy útiles en cuanto a que la no-linealidad de estos agroecosistemas puede ser representada, y los resultados pueden usarse para predecir futuros eventos (véase Jiménez *et al.* (2008) para una revisión exhaustiva del uso de redes neuronales en agronomía y agroecología). Existen redes neuronales supervisadas, en donde el creador proporciona los datos de entrenamiento y redes neuronales sin supervisión, que detectan patrones de forma autónoma (Hopgood, 2012).

En el caso de las redes neuronales supervisadas, éstas se alimentan con datos que el usuario proporciona, para que por medio de un algoritmo de entrenamiento se vayan determinando los pesos entre las variables y se haga un mapeo entre cada configuración de variables y una respuesta específica (entre más datos haya para entrenar la red neuronal, mejor será su poder predictivo). Las redes neuronales no supervisadas, en cambio, siguen algoritmos como el llamado algoritmo de Kohonen (1982), que permite que la red perciba un patrón sin necesidad de introducir datos de entrenamiento ni de corregir el rumbo de cómo van quedando los resultados. Véase Negrete *et al.* (2018) para una revisión del uso de redes neuronales en aplicaciones a la agricultura en México.

2.3 Sistemas inteligentes híbridos

Estos son todos sistemas inteligentes que usan una mezcla de sistemas con conocimiento explícito e inteligencia computacional, como los *sistemas neurales-difusos* (ANFIS, por sus siglas en inglés: *Adaptive Network-based in Fuzzy Inference Systems*). Así como los sistemas basados en reglas se pueden constituir con reglas de lógica difusas, los algoritmos de aprendizaje neuronal también pueden implementar este tipo de lógica. De esta mezcla de sistemas formales se han desarrollado procedimientos que son capaces de tomar conjuntos de datos y arrojar como resultado reglas de asociación; siendo esto útil puesto que obtenemos información *a priori* de qué cosas podrían estar relacionadas con otras.

Otro nombre del conjunto de técnicas que implican crear programas que pueden aprender a resolver tareas es lo que se denomina actualmente como *machine learning* o aprendizaje automático (Rebala *et al.*, 2019). La inteligencia computacional y el *machine learning* son en esencia el mismo tipo de prácticas, en donde se aproximan soluciones a problemas con algoritmos no específicos.

3. CUERPO ARGUMENTATIVO

Aplicaciones de sistemas inteligentes en agroecología: un ejemplo sencillo

Un ejemplo de un sistema inteligente basado en conocimiento explícito usando lógica difusa aplicado a aclarar un problema agroecológico fue el desarrollo de un

sistema para el reconocimiento de especies con valor silvopastoril. Dentro de reservas de la biósfera como la Reserva de la Biósfera de La Sepultura, las poblaciones humanas se ven inmersas en el conflicto producción vs. conservación debido a que esencialmente se ubican en la frontera forestal: la interfase entre la naturaleza y la esfera de acción humana. Actividades como la ganadería son al mismo tiempo elementales para el sustento de la gente y una amenaza para la biodiversidad. Por esto, se han promovido prácticas de ganadería más amigables con el ambiente, como los sistemas silvopastoriles. Estos esfuerzos de promoción han tenido resultados variables. Algunos rancheros adoptan prácticas denominadas silvopastoriles, pero que más bien implican sembrar pastos de porte alto como el llamado “pasto elefante”. En los casos que se usan árboles, estos se podan a baja altura para que el ganado alcance el follaje, lo que provoca que los árboles no lleguen a la edad adulta. Sin embargo, la mayoría de los ganaderos todavía valoran el papel del bosque. Los campesinos, sobre todo aquellos con menos recursos económicos, suelen liberar a su ganado dentro de secciones de éste para que encuentren su sustento cuando no hay otros recursos disponibles. Otros, con menos restricciones económicas, de todos modos liberan su ganado en el bosque puesto que aseguran que el “ramoneo” aumenta la calidad de la leche y la carne. Más allá de juicios severos sobre la conservación y el impacto del ganado sobre el bosque, realmente los ganaderos ya usan el bosque como si éste fuera un sistema agroforestal.

Esto lleva a la pregunta: ¿qué recursos silvopastoriles hay exactamente dentro del bosque? Para responder esto, se hicieron muestreos de la vegetación, clasificando las plantas de acuerdo a tres criterios de uso silvopastoril que fueron evaluados con sistemas de inferencia difusos. Estos criterios fueron: 1) un índice de características botánicas deseables; 2) el criterio de la opinión de productores acerca de la utilidad de estas plantas; y 3) características bromatológicas. El uso de sistemas inteligentes ayudó a categorizar la comunidad vegetal de acuerdo a su uso silvopastoril, descubriéndose una gran variedad de plantas que son pastoreadas, y clarificando el porqué los productores usan y valoran estas fronteras forestales para la ganadería.

De forma resumida, el desarrollo de este sistema requirió (véase la figura 2):

- 1) Reconocer las variables de importancia que revelan la información sobre el potencial uso silvopastoril. Entre estas encontramos variables botánicas, obtenidas mediante un muestreo de la comunidad vegetal; variables que reflejan el conocimiento que los rancheros tienen de las mismas, obtenidas mediante entrevistas a los rancheros; y variables de importancia bromatológica, como el contenido de proteína y metabolitos secundarios, obtenidas mediante análisis de laboratorio.
- 2) Con esta información, estas variables se “fuzifican”. Esto implica averiguar su mínimo y máximo numérico y dividir este intervalo de acuerdo a categorías lingüísticas como “bueno” o “malo”. La fuzificación se refiere a que las fronteras entre estas categorías no tienen por qué ser discretas, si no que pueden ser continuas entre una categoría y otra. Un número puede estar asociado a más de una categoría lingüística. El proceso de inferencia difusa requiere además

que se construyan variables de salida o de respuesta, con sus correspondientes divisiones asociadas a variables lingüísticas.

- 3) Una vez identificadas las variables y sus dominios lingüísticos, se construyen reglas que relacionan cada una de las combinaciones de las variables de entrada posibles con una de las variables de salida. Estas reglas tienen la forma: "Si A es a y B es $a \rightarrow C$ es a ".
- 4) La información de las reglas se usa entonces para realizar el proceso de inferencia difuso. Este proceso se hace de acuerdo a una rutina llamada inferencia de Mamdani (Castellano *et al.*, 2003), que consiste en usar asociaciones matemáticas llamadas t-normas y t-conormas, que corresponden a las operaciones lógicas AND y OR (Nguyen *et al.*, 2019), y usar una forma de relacionar conjuntos llamada algoritmo *minimax*, para encontrar una distribución resultante del conjunto de salida de acuerdo a la unión e intersección de las distribuciones de entrada.
- 5) El resultado es una conjunción de distribuciones, de la cual se obtiene un número concreto mediante un procedimiento denominado *defuzificación*, u obtener un número concreto de esta distribución. En este caso se usó el procedimiento de *centro de masa* (Van Leekwijck & Kerre, 1999). Existen varios procedimientos para defuzificar una distribución resultante (Van Leekwijck & Kerre, 1999). Con esto, obtenemos un valor que clasifica a las especies de acuerdo a su grado de utilidad como recursos silvopastoriles en estos tres criterios.

En esencia, este proceso implicó elegir variables de entrada y asociarlas con una de salida, involucrando conocimiento en forma de reglas. En un sistema difuso de este tipo también se pueden utilizar otro tipo de asociaciones matemáticas, además de la regla *minimax* y otros tipos de t-normas y t-conormas, y también otras formas de defuzificación. Éstas son sólo formas matemáticas de asociar conjuntos, esencialmente diseñando paso a paso una función que relaciona entradas con salidas. Aunque estos detalles puedan ser diferentes, el razonamiento general del método permanece igual.

El proceso de inferencia indicó la existencia de varias especies novedosas con potencial silvopastoril que antes no habían sido reconocidas plenamente. Su uso permitió entender rigurosamente que es precisamente la diversidad del paisaje natural la que le da valor silvopastoril a las fronteras forestales, y nos invita a entender de otra forma el uso que los productores locales le dan a las mismas. Además, permitió hacer de forma muy rápida la valoración de utilidad de > 200 especies, algo que hubiera tomado mucho tiempo de hacer manualmente. Es un ejemplo simple de la utilidad de los sistemas inteligentes de contribuir al conocimiento (agro)ecológico. En este caso particular el uso del sistema de inferencia difuso también fue adecuado porque permitió agrupar la información biológica, cultural y bromatológica, y darle un sentido cuantitativo suficiente para el objetivo de la evaluación.

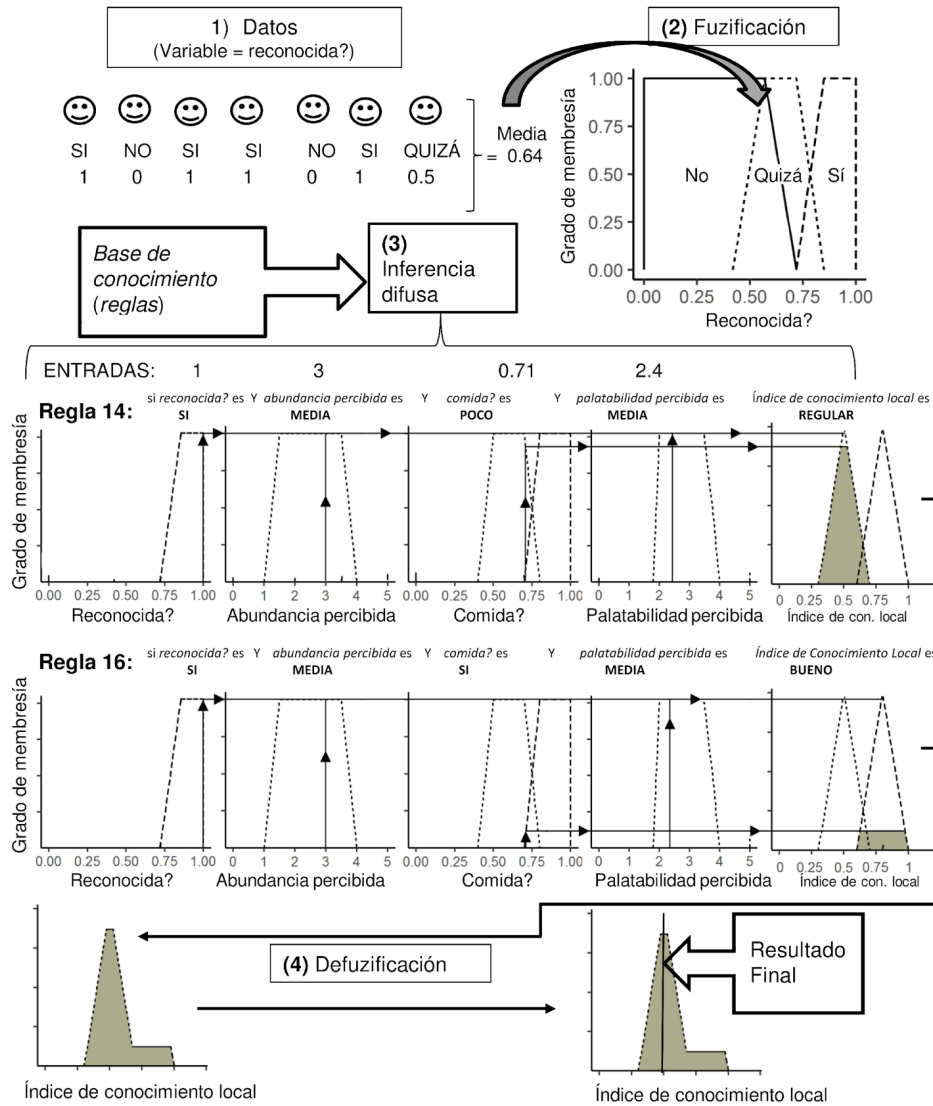


Figura 2: Ejemplo de inferencia difusa para las entrevistas. Los datos de las preguntas se promedian y fuzifican (1 y 2) y se alimentan al sistema de inferencia (3). Las entradas señaladas invocan dos reglas, 14 y 16, con las cuales se mapea una distribución de salida para cada una, las que entonces se unen (4) y de esta unión se obtiene un número final por defuzificación (por medio del método de *centro de masa*).

4. DISCUSIÓN

La agroecología es relativamente difícil de implementar como práctica. El diseño de sistemas de siembra novedosos es una barrera real para campesinos que no tienen tiempo ni dinero para experimentar. En general, se desearía que las configuraciones de componentes tanto biológicos como tecnológicos en un sistema agroecológico fueran informadas por principios ecológicos. La maraña de relaciones complejas y la causalidad no-lineal entre variables hacen de esto un campo fértil para ser explorado con métodos que asocian datos de entrada con datos de salida: estamos en el fondo buscando relaciones o funciones entre los componentes del agroecosistema. Ya sea dentro de la ciencia o la práctica de la agroecología, esto es útil. Por lo tanto, hay una plétora de nichos dentro del manejo agroecológico donde se podrían implementar sistemas inteligentes. Ejemplos son:

- 1) Sistemas inteligentes para apoyar planes de diseño para transformar granjas y terrenos donde se quiera implementar producción agroecológica. Pisonnier *et al.* (2019) presentan una metodología para el rediseño agroecológico de granjas; su propuesta podría ser ayudada y/o automatizada por sistemas inteligentes. Que, digamos, introduciendo datos geográficos, climáticos y sobre todo socio-económicos, se arrojen opciones para tipos de policultivos y su tipo de manejo. A esta escala de granja también serían útiles para poder predecir indicadores de capacidad y rendimiento agroecológicos (*e.g.* Augstburger *et al.*, 2018; Augstburger & Rist, 2019; Trabelsi *et al.*, 2019).
- 2) Caracterizar a productores y campesinos de acuerdo a su posibilidad de transición agroecológica. Predecir la probabilidad de éxito de la transición agroecológica (*sensu* Schiller *et al.*, 2019)
- 3) Evaluar la idoneidad de terrenos para el manejo agroecológico (*sensu* Seyed-mohammadi *et al.*, 2019). Caracterizar la vulnerabilidad de diferentes agroecosistemas (Vanwindekens *et al.*, 2018).
- 4) Sistemas inteligentes para evaluar la erosión del suelo (*e.g.* De la Rosa *et al.*, 1999), y predecir otros cambios a nivel de paisaje. Usando bases de datos de cambio de uso de suelo, aunados a algoritmos de aprendizaje, se puede quizá predecir el destino de diferentes parches de territorio de acuerdo al tipo de dinámica de parches circundantes. Debido a su capacidad de analizar grandes conjuntos de información imprecisa, los sistemas inteligentes parecen ser particularmente adecuados para cuestiones de manejo a nivel paisajístico.
- 5) Sistemas inteligentes para predecir precios de productos o diseñar planes de comercialización. Sistemas para identificar agentes de riesgo para cadenas de suministro de productos de agricultura –ampliar trabajos como Yazdani *et al.* (2019) con inteligencia computacional–.
- 6) Sistemas para identificar plagas. El manejo agroecológico de plagas busca maximizar la efectividad de los controles biológicos y culturales, para conseguir

reducir al máximo posible el uso de controles químicos y el disturbio ecológico (Reddy, 2017). Esta tarea de controlar las plagas de manera más específica requiere monitoreo constante e identificación rápida. Se pueden construir sistemas inteligentes que son capaces de monitorear e identificar plagas y enfermedades (Ghosh, 2015; Martin *et al.*, 2019; Ferentinos, 2018; Khattab *et al.*, 2019), incluso clasificar detalles como niveles de infestación en hojas (Sannakki *et al.*, 2011). De forma más general, es concebible que se pudiera entrenar una red neuronal para predecir interacciones, con el fin de reconocer diferentes especies y cómo estas afectan a las plantas y entre sí (es sabido que la fuerza de la interacción en una red ecológica puede ser estimada con base en simples funciones de la biomasa de los organismos, Berlow *et al.*, 2009), o estimar la función dentro del agroecosistema usando características funcionales (Bàrberi *et al.*, 2018). Algoritmos de aprendizaje han probado ser confiables para construir modelos predictivos de datos complejos como predecir la riqueza de insectos acuáticos en cuerpos de agua (Park *et al.*, 2003).

- 7) Identificación de nuevas especies de interés agronómico o agroecológico (Dechnik-Vázquez *et al.*, 2019).
- 8) Colectar datos de condiciones físicas y ecológicas de forma intensiva y asociar estos datos de entrada con los datos de producción de cada planta. Así se pueden saber o asociar componentes, quizá no conocidos, a plantas que resulten particularmente productivas. Esto en esencia no es otra cosa que “acelerar” lo que los campesinos ya hacen: identificar variables en relación a los resultados y convertirlas en conocimiento.

Otro abanico de posibilidades que se abre es el uso de sistemas inteligentes aunados a hardware como sensores remotos, por ejemplo, para controlar el estado de los cultivos. La disponibilidad actual de tecnología de software y hardware libres, que tiene relativamente bajo costo, abre cada vez más la posibilidad de que cualquiera pueda diseñar y operar sensores remotos y otros aparatos (Arias-Méndez y Pereira-Carpio, 2017) y es un incentivo para que aquellos interesados en la agroecología puedan incorporar tecnología que les permita facilitar el manejo de sus sistemas agroecológicos a mediana/grande escala.

Este tipo de acercamiento es similar al enfoque de la agricultura de precisión (Reddy, 2017), en donde el objetivo es usar técnicas de información para reconocer las necesidades especiales de las plantas individuales dentro de los cultivos (Finger *et al.*, 2019) y así evitar desperdicios innecesarios de fertilizantes, pesticidas, etc. Pero, ¿es compatible este enfoque con la agroecología? La transición agroecológica se concibe en niveles progresivos de transformación de los agroecosistemas (Gliessman, 2016), pasando desde aumentar la eficiencia de los procesos (nivel 1, donde entraría la agricultura de precisión), pasando a sustituir insumos por alternativas (nivel 2), llegando a “transformar el sistema agroalimentario” (nivel 5), insistiendo en que deben incorporarse prácticas como rotaciones ecológicas de cultivos, la agroforestería y cultivos múltiples, y más allá de eso, construir un nuevo sistema alimentario global basado en la equidad, la participación y la democracia. Más

allá de la dimensión política de las obvias deficiencias y abusos del sistema agroalimentario actual (Smith, 2016), muchas de estas propuestas dentro de la *práctica* son difíciles o imposibles de implementar para el campesino de a pie y el agricultor a más grande escala, con más posibilidades económicas pero inmerso en el sistema agroalimentario actual. No cualquiera puede simplemente “integrar ganadería con sus cultivos”. No cualquiera puede empezar a realizar rotaciones de cultivos que desconoce. La realidad suele ser menos complaciente en tiempo y esfuerzo con el campesino/agricultor a cualquier escala económica, y éstos necesitan, además de cambios de enfoque, herramientas tecnológicas que les ayuden en su labor. Las soluciones concretas suelen tener aceptación entre campesinos y demás productores de alimentos. No tiene por qué haber una disyuntiva entre el uso de tecnología y la agroecología. Esta última ofrece soluciones, pero es sumamente intensiva en trabajo y atención. ¿Cómo monitorear el estado del suelo con precisión para saber cuándo realizar una rotación? ¿Cómo saber cuándo los árboles fijadores de nitrógeno de tu parcela ya generan demasiada sombra? ¿Cómo clasificar un terreno para dividirlo entre diferentes usos con precisión? ¿Cómo saber exactamente cuándo hay que limpiar las plantas arvenses que crecen en medio de los callejones de tu finca de café, de modo que se optimice su aporte de beneficios al suelo pero se evite lo más posible la competencia por nutrientes con las plantas de café? Todos estos son problemas reales de decisiones complejas en situaciones agroecológicas, que pueden ser ayudados por instrumentos más avanzados. Así, en lugar de hablar de niveles progresivos incompatibles, hay que hablar de un avance simultáneo de soluciones con diferentes enfoques. Es aquí donde el uso de sistemas inteligentes mediante software y hardware tiene un nicho (Bellon-Maurel & Huyghe, 2017). Aunque es cierto que hay barreras educativas y económicas para el uso de tecnología más allá de lo básico en zonas rurales, la revolución creciente del software y hardware libres hacen cada vez más posible la democratización y uso de herramientas sofisticadas para todos (Baker, 2014; García *et al.*, 2018) y las tecnologías de la información y comunicación pueden ayudar en la transición agroecológica (Leveau *et al.*, 2019). Negrete *et al.* (2018) publicaron una revisión del uso de placas Arduino, una popular distribución de microcontroladores, para la automatización de la agricultura en México. Las propuestas de enriquecer la agroecología con herramientas sofisticadas también podrían hacerla más atractiva para aquellos productores del campo con más posibilidades económicas; así, en lugar de que la visión del agro-negocio coopte exclusivamente el uso de tecnología, la agroecología puede apropiarse también de estos medios para avanzar. Las tecnologías como el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) tienen que ser apropiadas por todos, no sólo por los actores más poderosos (Pumphrey, 2019; Rotz *et al.*, 2019). La automatización puede contribuir a un futuro donde la producción de alimentos esté basada en principios agroecológicos (Shepon *et al.*, 2018).

5. CONCLUSIONES

Los sistemas inteligentes, como forma de imitar la toma de decisiones por parte de agentes humanos, podrían tener aplicaciones concretas dentro del quehacer agroecológico. Estos usos van desde ayudar al manejo general de granjas hasta predicción de variables mercantiles, y comprenden desde sistemas sencillos para decisiones simples hasta usos sofisticados como integrar modelos de predicción con hardware *in situ* para situaciones de monitoreo de cultivos. El dominio de aplicación dentro de la agroecología es potencialmente alto, puesto que estos métodos son particularmente útiles para desenmarañar o aproximar soluciones dentro de redes de causalidad complejas, como las que aparecen en los agroecosistemas. Este tipo de métodos han sido adoptados con mucho ímpetu en países como la India (Jha *et al.*, 2019); México y otros países de Latinoamérica también podrían ser terreno fértil para este tipo de desarrollos.

REFERENCIAS

- Arias-Méndez, E. y Pereira-Carpio, G. (2017). *Enseñar programación a niños, jóvenes y adultos usando la plataforma Arduino*. En: Simposio Argentino sobre Tecnología y Sociedad (STS)-JAIIO 46- ISSN: 2451-7631, pp. 44-50; Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Córdoba, Argentina, 4 al 8 de septiembre de 2017.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/64464/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1
- Augstburger, H., Jacobi, J., Schwilch, G. & Rist, S. (2018). Agroecosystem Service Capacity Index – A methodological approach. *Landscape Online*, 64, 1–48. <https://doi.org/10.3097/LO.201864>
- Augstburger, H. & Rist, S. (2019). Assessing the capacity of three Bolivian food systems to provide farm-based agroecosystem services. *Journal of Land Use Science*, 15(2-3), 142–171. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1651414>
- Baker, M.E. (2014). Open source data logger for low-cost environmental monitoring. *Biodiversity Data Journal*, 2, e1059. <https://doi.org/10.3897/BDJ.2.e1059>
- Bannerjee, G., Sarkar, U., Das, S. & Ghosh, I. (2018). Artificial Intelligence in Agriculture: A Literature Survey. *International Journal of Scientific Research in Computer Science Applications and Management Studies*, 7(3), 1–6.
- Bàrberi, P., Bocci, G., Carlesi, S., Armengot, L., Blanco-Moreno, J.M. & Sans, F.X. (2018). Linking species traits to agroecosystem services: a functional analysis of weed communities. *Weed Research*, 58(2), 76–88. <https://doi.org/10.1111/wre.12283>
- Bellon-Maurel, V. & Huyghe, C. (2017). Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology. *OCL*, 24(3), D307.
- Berlow, E.L., Dunne, J.A., Martinez, N.D., Stark, P.B., Williams, R.J. & Brose, U. (2009). Simple prediction of interaction strengths in complex food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(1), 187–191. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806823106>
- Castellano, G., Fanelli, A.M. & Mencar, C. (2003). Design of transparent mamdani fuzzy inference systems. *Design and application of hybrid intelligent systems*, 468–477.

- Castillo, O., Melin, P., Kacprzyk, J. & Pedrycz, W. (2007). Type-2 fuzzy logic: theory and applications. *IEEE International Conference on Granular Computing (GRC 2007)*, Fremont, CA, 145–150. <https://doi.org/10.1109/GrC.2007.118>
- De la Rosa, D., Mayol, F., Moreno, J.A., Bonsón, T. & Lozano, S. (1999). An expert system/neural network model (ImpelERO) for evaluating agricultural soil erosion in Andalucía region, southern Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 73(3), 211–226. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00050-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00050-X)
- Dechnik-Vázquez, Y.A., García-Barrios, L., Ramírez-Marcial, N., van Noordwijk, M. & Alayón-Gamboa, A. (2019). Assessment of browsed plants in a sub-tropical forest frontier by means of fuzzy inference. *Journal of Environmental Management*, 236, 163–181. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.071>
- Ferentinos, K.P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>
- Finger, R., Swinton, S.M., El Benni, N. & Walter, A. (2019). Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment. *Annual Review of Resource Economics*, 11, 313–335. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>
- García, D.C., Martínez, A.G. & García, M.E. (2018). Raspberry Pi y Arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Telecomunicaciones*, 2(1), 74–82.
- Gebbers, R. & Adamchuk, V.I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327 (5967), 828–831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
- Ghosh, I. (2015). An Artificial Intelligence Technique for Jute Insect Pests Identification. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5(11), 791–794.
- Gliessman, S. (2016). Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(3), 187–189. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765>
- Hopgood, A.A. (2012). *Intelligent systems for engineers and scientists*. CRC Press.
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P. & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
- Jiménez, D., Pérez-Urbe, A., Satizábal, H., Barreto, M., Van Damme, P. & Tomassini, M. (2008). A survey of artificial neural network-based modeling in agroecology. In: B. Prasad (ed.), *Soft Computing Applications in Industry* (pp. 247–269). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77465-5_13
- Khattab, A., Habib, S.E., Ismail, H., Zayan, S., Fahmy, Y. & Khairy, M.M. (2019). An IoT-based cognitive monitoring system for early plant disease forecast. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105028. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105028>
- Kohonen, T. (1982). Analysis of a simple self-organizing process. *Biological Cybernetics*, 44, 135–140. <https://doi.org/10.1007/BF00317973>
- Leveau, L., Bénel, A., Cahier, J.P., Pinet, F., Salembier, P., Soullignac, V. & Bergez, J.E. (2019). Information and Communication Technology (ICT) and the Agroecological Transition. In: J-E Bergez, E. Andouin, O. Therond (eds.), *Agroecological Transitions: From Theory to Practice in Local Participatory Design* (pp. 263–287). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01953-2_12

- Martin, P., Silvie, P., Marnotte, P. & Goebel, F.R. (2019). A decision-support system for determining sugarcane pest reservoirs. *Proceedings of XXX the International Society of Sugar Cane Technologists Congress*, 110–117.
- McKinion, J.M. & Lemmon, H.E. (1985). Expert systems for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1(1), 31–40. [https://doi.org/10.1016/0168-1699\(85\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0168-1699(85)90004-3)
- Negrete, J.C. (2018). Artificial Neural Networks in Mexican Agriculture, A Overview. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 5(7), 1–9.
- Negrete, J.C., Romantchik, E.K., Lopez, G.D.J., Zuñiga, C.I. and Lopez, G., (2018). Arduino board in the automation of agriculture in Mexico, a review. *International Journal of Horticulture*, 8(6), 52–58. <http://hortherbpublisher.com/index.php/ijh/article/html/3452/>
- Nguyen, H.T., Walker, C.L. & Walker, E.A. (2019). *A first course in fuzzy logic*. CRC press.
- Park, Y.S., Cérégino, R., Compin, A. & Lek, S. (2003). Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling*, 160(3), 265–280. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00258-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00258-2)
- Pissonnier, S., Dufils, A. & Le Gal, P.Y. (2019). A methodology for redesigning agroecological radical production systems at the farm level. *Agricultural Systems*, 173, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.018>
- Pumphrey, J.N.N. (2019). *Information Systems for Grassroots Sustainable Agriculture* [tesis de doctorado, University of California, Irvine]. <https://escholarship.org/uc/item/1ds163pz>
- Rebala, G., Ravi, A. & Churiwala, S. (2019). *An introduction to machine learning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15729-6>
- Reddy, P.P. (2017). *Agro-ecological approaches to pest management for sustainable agriculture*. Springer Nature.
- Rotz, S., Duncan, E., Small, M., Botschner, J., Dara, R., Mosby, I., Reed, M. & Fraser, E.D. (2019). The Politics of digital agricultural technologies: a preliminary review. *Sociologia Ruralis*, 59(2), 203–229. <https://doi.org/10.1111/soru.12233>
- Sabri, N., Aljunid, S.A., Salim, M.S., Badlishah, R.B., Kamaruddin, R. & Malek, M.A. (2013). Fuzzy Inference System: Short Review and Design. *International Review of Automatic Control*, 6, 441–449.
- Sannakki, S.S., Rajpurohit, V.S., Nargund, V.B., Kumar R., A. & Yallur, P.S. (2011). Leaf disease grading by machine vision and fuzzy logic. *International Journal of Computer Technology and Applications*, 2(5), 1709–1716.
- Schiller, K.J.F., Klerkx, P. L., Poortvliet M. & Godek, W. (2019). Exploring barriers to the agroecological transition in Nicaragua: A Technological Innovation Systems Approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(1), 88–132. <https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1602097>
- Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A.A. & McDowell, R.W. (2019). Integration of ANP and Fuzzy set techniques for land suitability assessment based on remote sensing and GIS for irrigated maize cultivation. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(8), 1063–1079. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1549363>
- Shepon, A., Henriksson, P.J.G. & Wu, T. (2018). Conceptualizing a Sustainable Food System in an Automated World: Toward a “Eudaimonian” Future. *Frontiers in Nutrition*, 5, 104. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00104>

- Smith, K. (2016). Food systems failure: can we avert future crises? In: M. Shucksmith & D.L. Brown (eds.), *Routledge International Handbook of Rural Studies* (Ch. 21). Routledge.
- Trabelsi, M., Mandart, E., Le Grusse, P. & Bord, J.P. (2019). ESSIMAGE: a tool for the assessment of the agroecological performance of agricultural production systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 9257–9280. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04387-9>
- Vandermeer, J. y Perfecto I. (2018). *Ecological complexity and Agroecology*. Routledge.
- Van Leekwijck, W. & Kerre, E.E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy sets and systems*, 108(2), 159–178.
- Vanwindekens, F.M., Gobin, A., Curnel, Y. & Planchon, V. (2018). New Approach for Mapping the Vulnerability of Agroecosystems Based on Expert Knowledge. *Mathematical Geosciences*, 50(6), 679–696. <https://doi.org/10.1007/s11004-018-9730-5>
- Yazdani M., Gonzalez, E.D.R.S. & Chatterjee, P. (2019). A multi-criteria decisionmaking framework for agriculture supply chain risk management under a circular economy context. *Management Decision*. <https://doi.org/10.1108/MD-10-2018-1088>
- Zaks, D.P. & Kucharik, C.J. (2011). Data and monitoring needs for a more ecological agriculture. *Environmental Research Letters*, 6(1), 014017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/014017>

RÍO DE VIDA CAMPESINA: UN JUEGO DE MESA SERIO PARA FAMILIAS RURALES QUE SIMULA LA COMPLEJIDAD DE SU REPRODUCCIÓN SOCIAL

Luis García-Barrios¹, Tlacael Rivera-Núñez^{2*}, Juana Cruz-Morales³,
Jorge Urdapilleta-Carrasco¹ y Elizabeth Castro-Salcido¹

¹ Dirección Regional Sureste, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

² Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur.

³ Centro Regional Chiapas, Universidad Autónoma Chapingo.

AGRADECIMIENTOS: Agradecemos a las familias campesinas de la Cuenca Alta del Río El Tablón por abrirnos las puertas de sus hogares y parcelas, así como por permitirnos aprender juntos y compartir sus historias. Estamos también agradecidos con Ivett Peña, Oscar Martínez, Angelita López, Rolando Dávila, Merci Morales y Jorge Espinoza por participar en la preparación de los talleres y en la implementación del juego. Finalmente agradecemos al revisor anónimo del capítulo.

FINANCIAMIENTO: El Proyecto Multidisciplinario y Transversal Agricultura Familiar: Afrontando la Complejidad de su Adaptación al Contexto Globalizado (PROYECTO MT AGFAM9) de ECOSUR [2015-2018] financió la investigación para el diseño y los talleres de implementación del juego.

INTRODUCCIÓN

Cerca del 80% de la población bajo condiciones de pobreza habita en territorios rurales, en los que se exacerbaban las manifestaciones de exclusión social, condiciones subalimentarias, intercambios desiguales, falta de acceso a la salud, servicios públicos y oportunidades de empleo (de la O Campos *et al.*, 2018). Tal realidad ha renovado el interés académico por identificar y comprender 1) las estrategias que desarrollan los hogares rurales (HRs) para subsistir en dichos entornos, y 2) qué tipos de condiciones deben superar y cuáles mejorar para transformar profundamente su situación.

Para conocer cómo los HRs hacen frente a sus difíciles condiciones de vida y de qué manera podrían mejorarlas, se requiere entender su reproducción social (RS) en términos intracomunitarios y como clase social, partiendo de un enfoque histórico que explique sus condiciones actuales. Las investigaciones sobre RS se

* Autor corresponsal: El Colegio de la Frontera Sur, María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. CP 29290, Tel. (967) 674 9000 ext. 1418. / tlacaelrivera@gmail.com

encargan de estudiar las condiciones de subsistencia de clases sociales a partir de analizar sus medios de trabajo, subjetividades, relaciones sociales internas, así como las múltiples relaciones que establecen con los sistemas económicos y regímenes político-ideológicos más amplios (Bourdieu, 1973; Godelier, 1991; Norotzky, 2004).

Dentro de la sociedad mexicana, durante los últimos 100 años, la clase campesina ha transitado por la explotación latifundista de las haciendas (sistema de peonaje), la lucha y dotación de tierras producto de la Revolución Mexicana (1910-1917), el rol central en la producción nacional de alimentos durante el desarrollo estabilizador (1952-1970), el relegamiento de los apoyos gubernamentales para el campo en la década de los ochenta que trajeron consigo las participaciones de México en la Ronda de Uruguay (preámbulo del neoliberalismo), y la reorganización económica, social, ambiental y política que significó para el campesinado mexicano la entrada en vigor, en 1994, del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (Cornelius & Myhre, 1998; Barkin, 2002). La RS de la clase campesina, bajo las condiciones neoliberales en México, implicó para los HRS transitar de la multifuncionalidad interna (p. ej. agricultura de subsistencia, apoyos productivos para participar en el mercado nacional de alimentos, jornales rurales y migraciones regionales) a la pluriactividad externa y la relación con múltiples actores y agendas de desarrollo: mercados de agroexportación, políticas de conservación ambiental (p. ej. pago por servicios ambientales, ecoturismo y proyectos agroforestales), programas sociales de transferencias monetarias condicionadas, y migraciones para incorporarse como mano de obra barata en los mercados internacionales de trabajo.

La articulación del neoliberalismo en múltiples contextos políticos, económicos y socioculturales alrededor del mundo (Fletcher, 2019), condujo a que las investigaciones rurales replantearan su estudio en buscar entender las nuevas facetas de RS de las sociedades rurales y campesinas (Ellis, 1998; Kay, 2008). Estas investigaciones transitaron de las clásicas lecturas estructuralistas (economía política y teoría de la dependencia) o agenciales (microeconomía y elección racional), a enfoques postestructurales que incorporaron tanto las condiciones históricas como las interfaces de acción orientadas a los actores (Long, 2003; de Haan & Zoomers, 2005). El marco analítico de los medios de vida rurales (MVR) fue el enfoque postestructural que logró mayor alcance en los estudios sobre la RS campesina.

MVR analiza la disposición de patrimonios, capacidades, accesos, racionalidades y subjetividades que despliegan los HRS para asegurar su subsistencia, vinculando sus micro-mundos (p. ej. estructura y ciclos de desarrollo familiar, división interna del trabajo) con los macro-mundos en los que estos se ven incrustados (p. ej. estados-nacionales y economías-mundo modernas) (Chambers & Conway, 1992; Ellis, 2000; Scoones, 2009). El principal propósito de MVR es contribuir a mejorar las condiciones de subsistencia de las sociedades rurales y campesinas, a partir de orientar las agendas de las organizaciones multilaterales y las políticas públicas para que sean capaces de contrarrestar vulnerabilidades sociales –por medio de inyecciones estratégicas de “capitales” bajo el modelo pentahélice: social, hu-

mano, económico, infraestructural y natural (Scoones, 1998; Bebbington, 1999). En el propósito de impulsar medios de vida sostenibles, resulta de suma importancia estudiar las estrategias (esquemas de comportamiento y toma de decisiones) y trayectorias (vías regulares o patrones distinguibles y diferenciables que resultan de las estrategias) que despliegan o siguen los HRs (de Haan & Zoomers, 2005).

Los análisis de estrategias y trayectorias han motivado el surgimiento de estudios dinámicos y multidimensionales dentro del marco analítico de los MVR (ver Sallu *et al.*, 2010; van den Berg, 2010; Olsson *et al.*, 2014; Rebaí & Alvarado-Vélez, 2018). Sin embargo, aún se identifican tres vacíos centrales en este cuerpo de investigaciones: 1) trabajos que aborden de manera conjunta y anidada los análisis de estrategias y trayectorias de vida (crítica de de Haan & Zoomers, 2005), 2) estudios que generen simulaciones sociales capaces de facilitar procesos de evaluación de escenarios (p. ej. Garedeew *et al.*, 2011; Magliocca *et al.*, 2013; Debnath & Bardhan, 2018), y 3) aproximaciones participativas con los HRs de corte más inmanentes que intervencionistas (crítica de Morse y McNamara, 2013; Herrera *et al.*, 2017).

Una manera de abordar las brechas identificadas en el marco de MVR es a través de juegos serios como Río de Vida Campesina (RVC) cuyo diseño, implementación y resultados generales describimos en el presente capítulo. RVC es un juego de mesa complejo –pero fácil de usar– que sirve como un espacio seguro y estilizado, en donde los miembros de un HR (como equipo) pueden movilizar un conjunto de capacidades interdependientes en ocho actividades diferentes, para desarrollar estrategias en los MVR y observar sus consecuencias dinámicas (trayectorias ascendentes, oscilatorias y descendentes en la RS de capacidades). Cuando juegan RVC, los HRs deben responder continuamente durante diez rondas (años) de juego a las condiciones cambiantes que resultan de sus decisiones previas y de las interacciones implícitas resultantes con actores externos (campos sociales). Por lo tanto, para tener éxito en RVC un HR debe mantener o aumentar las capacidades que son necesarias para su funcionamiento anual y a largo plazo en un territorio rural.

RVC es una herramienta participativa de aprendizaje de tercer orden o *triple-loop learning*¹ que permite a los HRs ver más allá de las consecuencias obvias de sus acciones diarias y, pasar, a través del juego, a un proceso iterativo y explicativo para tomar decisiones y evaluar-reaccionar a las consecuencias. La herramienta también funciona como un simulador social que, a través de mapeos multidimensionales e intertemporales, ofrece perfiles explícitos y detallados de las estrategias de vida desarrolladas por los HRs y de las trayectorias en la reproducción de capacidades que surgen de dichas estrategias.

El dispositivo fue desarrollado y parametrizado con información y conocimientos surgidos de 15 años de interacción y discusión con los HRs de la Reserva MAB-UNESCO La Sepultura, en Chiapas, México. Durante las últimas siete décadas, los HRs de La Sepultura han habitado un territorio con una historia socioambiental

¹ Entendido como un orden mayor de discernimiento del proceso de aprendizaje, en el que se desafían o afianzan valores, normas, creencias y, sobre todo, se profundizan las capacidades para evaluar las consecuencias de acciones y comportamientos dentro de regímenes sociales, políticos, económicos y ambientales más amplios (Fazey, 2010).

sumamente dinámica y disputada entre múltiples actores (locales y externos), por lo que han tenido que reorganizar drásticamente y constantemente sus medios de vida (García-Barrios *et al.*, 2020a). RVC logra capturar de manera estilizada pero bastante realista los desafíos que enfrenta un HR para asegurar cotidianamente sus medios de subsistencia, a la par que representa, en términos generales, las condiciones actuales de RS del campesinado en sociedades altamente clasistas y abiertas a las economías mundiales como la mexicana. En este sentido, RVC es una herramienta de investigación participativa que establece un balance funcional entre rasgos de diseño ideográficos (particulares) y nomotéticos (generales) que permiten adaptar el dispositivo a una gran diversidad de contextos rurales y campesinos alrededor del mundo, adecuando sus parámetros (Gilbert & Ahrweiler, 2006).

RVC no es un típico juego microeconómico de elección racional, contabilidad y eficiencia en el que se busque simplemente informar sobre cómo los HRs podrían optimizar sus medios de subsistencia (enfoque intervencionista de inyección de capitales). RVC se concibe más bien como: a) un instrumento centrado en reflexionar de qué manera los HRs aseguran la subsistencia en sus condiciones de vida contemporáneas, b) una herramienta de acción que en lugar de asumir las necesidades y roles que debe seguir el campesinado dentro de nuestra sociedad, contribuya a que los HRs y sus aliados actuales y potenciales comprendan y busquen transformar las difíciles y severas condiciones en las que reproducen sus vidas (enfoque inmanente), y c) un dispositivo de análisis dinámico y multidimensional capaz de ir más allá de las imágenes estáticas que desarrollan la gran mayoría de los estudios teóricos y descriptivos sobre el campesinado y la vida rural.

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

La Cuenca Alta del Río El Tablón y nuestra estrategia de investigación participativa para el aprendizaje inmanente

La Cuenca Alta del Río El Tablón (CART) es un espacio montañoso neotropical de aproximadamente 30,000 ha que se ubica en la porción noroccidental de la Sierra Madre de Chiapas, en el sursureste de México. Expresa un abrupto gradiente climático con altitudes que van desde los 800 a los 2,550 msnm, una densa red hídrica permanente e impermanente y seis tipos de bosques que albergan una enorme biodiversidad (García-Barrios y González-Espinosa, 2017). En términos territoriales, la CART es una micro-región sumamente dinámica y disputada entre múltiples actores, lo que ha ocasionado que los HRs que en ella habitan se encuentren permanentemente experimentando cambios drásticos y constantes en sus medios de vida.

En poco más de 50 años los HRs han pasado de estar bajo el yugo laboral de las haciendas forestales, ganaderas y cafetaleras, a la conformación de ejidos (Cruz-Morales, 2014). A partir de entonces los HRs han transitado de los sistemas de peonaje y economías de enclave que mantenían los terratenientes de las ciudades rectoras, a la producción de maíz y frijol para el autoabasto; formaron parte del auge agrícola nacional de los 70-80's y posteriormente experimentaron su derrum-

be en los 90's por la entrada en vigor del TLCAN. Por su parte, el tránsito entre la década de los noventa y la entrada del nuevo milenio significó para la CART la reorganización socioproductiva hacia la pequeña-mediana ganadería, el decreto nacional como Reserva de la Biosfera La Sepultura y la incorporación al programa MAB-UNESCO, así como el consecuente arribo de instituciones académicas y ONG's nacionales e internacionales que han promovido la ganadería silvopastoril, la producción de café de conservación, la extracción de resina de *Pinus oocarpa* y el aprovechamiento de palma *Chamaedora* como proyectos agroecológicos y agroforestales "insignia" (García-Barrios *et al.*, 2020a).

Actualmente los cerca de 1,500 HRS de los 12 ejidos que comprende la CART, tienen que desplegar una pluralidad de actividades laborales dentro y fuera de su territorio para asegurar su RS. Dependiendo de la cantidad de tierra y de la disposición de otros medios de producción, así como de la morfología y ciclo de desarrollo familiar, los HRS combinan como actividades productivas la agricultura de maíz y frijol para el autoabasto, con la pequeña-mediana ganadería y alguna otra de las actividades agroforestales para el mercado (Zabala *et al.*, 2017; Rivera-Núñez *et al.*, 2020). Además de las actividades productivas, el envío de remesas que deriva de la migración nacional o internacional a EE.UU., así como las transferencias monetarias asistencialistas provistas por el gobierno federal, pueden representar importantes fuentes de ingresos económicos para los HRS (García-Barrios *et al.*, 2009). Por lo tanto, como parte de sus estrategias de RS, los HRS de la CART interactúan a distintas escalas con múltiples actores locales y externos –frecuentemente más poderosos que ellos– con los que establecen tanto alianzas como tensiones y disputas sobre las formas de apropiar, usar y manejar sus territorios y los beneficios que de ellos emanan (García-Barrios *et al.*, 2012).

Dentro de dicha plétora de actores y agendas territoriales, nuestra participación como grupo de investigación en la CART comenzó hace 15 años. Iniciamos buscando canalizar las ideas en boga de los paisajes agrodiosos para la conservación y el desarrollo social (Harvey *et al.*, 2008; Perfecto & Vandermeer, 2010; Tenza-Peral *et al.*, 2011; Chappell *et al.*, 2013), a partir de la colaboración con actores locales y externos de la CART, en un proyecto de reorientación de la ganadería semi-extensiva a esquemas silvopastoriles (García-Barrios *et al.*, 2012). El reconocer las asimetrías de poder en la gobernanza de este territorio, paulatinamente nos llevó a encaminar nuestra colaboración al acompañamiento de los procesos productivos y de negociación de los pequeños y medianos campesinos con los actores externos. En los últimos años hemos puesto en marcha un esquema de Investigación-Acción Participativa (IAP) (Fals-Borda & Rahman, 1991) encaminado a construir, al mediano y largo plazos, procesos de aprendizaje social (Schusler *et al.*, 2003; Reed *et al.*, 2010) y educación-concientización popular (Freire, 1973; Holliday, 2010), a partir del diseño y la implementación de juegos de mesa serios y de roles, así como de modelos basados en agentes (Bousquet *et al.*, 2002; Agar, 2005; Janssen & Ostrom, 2006; Richiardi *et al.*, 2006; den Haan & van der Voort, 2018; Redpath *et al.*, 2018).

Hemos empleado los juegos de mesa y modelos basados en agentes para analizar participativamente representaciones dinámicas estilizadas y escenarios sobre

las siguientes temáticas:

- I. Retos y dilemas que enfrentan los campesinos para cooperar y coordinarse a fin de reducir externalidades ambientales negativas, y conservar bosques y aguas en una cuenca hidrológica (García-Barrios *et al.*, 2011; García-Barrios *et al.*, 2015).
- II. Involucramiento de los campesinos en el proceso de diseño y planificación multifuncional de agroecosistemas (Speelman *et al.*, 2013; Speelman *et al.*, 2014).
- III. Conocer las motivaciones de los jóvenes rurales para usar y conservar su patrimonio agrícola-natural (Meza-Jiménez *et al.*, 2016).
- IV. Promover la comprensión de los campesinos sobre la complejidad ecológica del control autónomo de plagas en los agroecosistemas de café de sombra afectados por la roya (García-Barrios *et al.*, 2016; García-Barrios *et al.*, 2017).
- V. Explorar con múltiples actores opciones de gestión capaces de asegurar el aprovechamiento de la resina de pino como un proyecto agroforestal sustentable al largo plazo (Braasch *et al.*, 2018).
- VI. Contribuir a la colaboración intergeneracional entre jóvenes y adultos de los hogares campesinos a través de poner en interacción la toma de decisiones individuales y familiares (Castro-Salcido, 2019).

El diseño y la dinámica de juego de Río de Vida Campesina

RVC es un simulador social que captura y dinamiza las decisiones que toman los HRS para reproducir sus medios de vida en un lapso de tiempo de 10 años. Los 15 años de investigación en la CART, nos llevaron a estilizar que en esta zona campesina las capacidades centrales que emplean los HRS para asegurar su RS y económica son: el trabajo, las tierras agrícolas productivas, el autoabasto de alimentos, las actividades agrícolas y no agrícolas que generan ingresos monetarios, la alegría que genera la convivencia familiar y social. Desarrollamos un modelo teórico en el que incorporamos estas capacidades como variables de estado que se interrelacionan de manera no lineal (figura 1).

A partir del modelo teórico inicial diseñamos el tablero de un juego de mesa que representa tanto la “caja de herramientas” como el “escenarios de maniobras” (Barreteau *et al.*, 2003) en el cual un equipo familiar (EF) –conformado por el padre, la madre y el/la joven de una familia rural– negocia y toma decisiones que dinamizan las capacidades y patrimonios para la reproducción de sus medios de vida en el tiempo (figura 2). Cada EF se encuentra dotado en el tablero con un acervo inicial de 21 fichas, que representan las capacidades y patrimonios “impermanentes” que se consumirán (se los “llevará el río de la vida”) en la primera ronda de actividades del hogar (año uno) y, por lo tanto, deben reproducirse ese mismo año para permitir una segunda ronda de vida (consultar el manual de talleres participativos: *Familia y vida campesina en la frontera sur: caminos de escucha transdisciplinarios*,

editado por Cruz-Morales, 2018). Para reproducir tales capacidades y patrimonios, los EFs tienen que elegir un subconjunto de actividades económicas y sociales en donde cada una de ellas exige tipos y cantidades de fichas, y solamente reproduce un único tipo de capacidad. Las ocho actividades disponibles son: asistencia social, venta de mano de obra migratoria, producción de cultivos comerciales 1, producción de cultivos comerciales 2, mantenimiento del hogar, mantenimiento de tierras, autoabasto de alimentos, y actividades sociales/espirituales (figura 2).

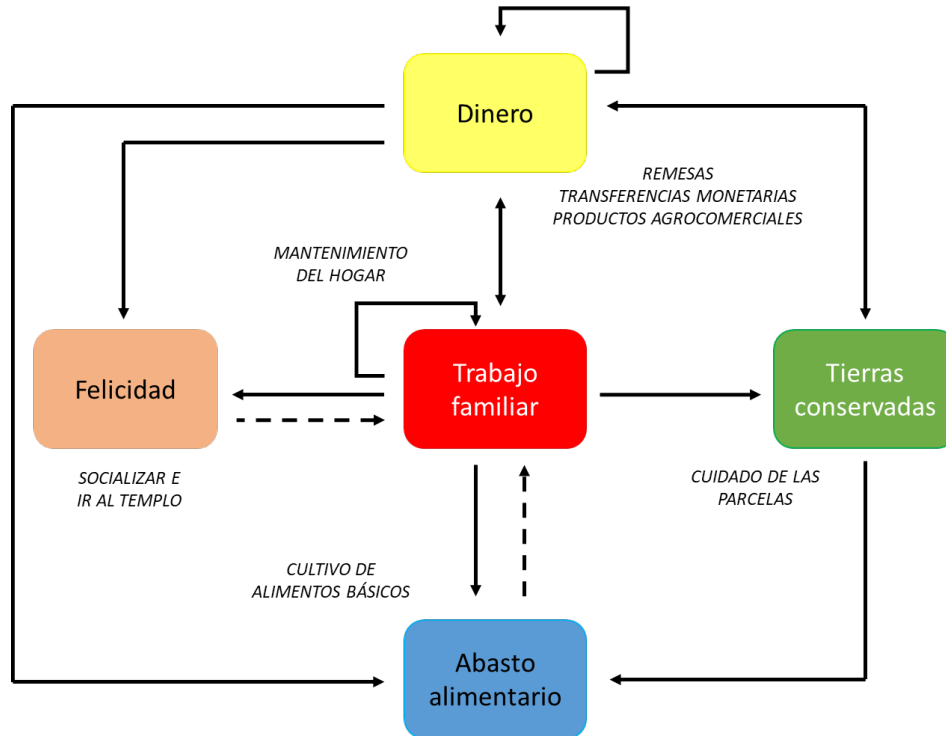


Figura 1: Modelo estilizado de las interdependencias entre las capacidades que emplean los hogares rurales para reproducir sus medios de vida. Las líneas indican qué capacidades se requieren para reproducir la capacidad a la que apunta la flecha.

Cada una de estas ocho actividades ($A_i, i = 1, \dots, 8$) genera fichas para el siguiente año, pero la cantidad puede ser alta o baja según lo dicte el valor X que resulta de arrojar un dado de seis caras. Si el valor X del dado arrojado es mayor que X_i , la familia recibe la cantidad alta de fichas estipulada en el tablero para esa actividad A_i ; de lo contrario, recibe la cantidad baja. De manera más formal se puede decir que, en el largo plazo, la actividad A_i genera (con probabilidad $p_i = [6 - X_i]/6$) la cantidad alta de fichas para esa actividad y con probabilidad $(1 - p_i)$ la cantidad baja de fichas para esa actividad. Cuando una actividad i tiene en el tablero un alto valor de X_i ello representa de manera muy estilizada –pero

claramente comprendida por el jugador— que con alta frecuencia será desfavorable para la familia “el campo, la interface o arena” (Bourdieu, 1998; Long, 2003; Ostrom, 2009), dentro del cual el EF interactúa y negocia con otros actores la distribución de los beneficios de dicha actividad.



Figura 2: Estructura cíclica básica del juego que puede ser transferida a otros contextos rurales variando sus parámetros. En el tablero los jugadores tienen (A) un conjunto de capacidades disponibles, (B) ocho actividades a desarrollar que demandan diferentes cantidades de las capacidades disponibles. Estas actividades son: 1. Asistencia social, 2. Venta de mano de obra migratoria, 3. Producción de cultivos comerciales *a*, 4. Producción de cultivos comerciales *b*, 5. Mantenimiento del hogar, 6. Cuidado de tierras, 7. Autoabasto de alimentos, y 8. Actividades sociales/espirituales. (C) Cada actividad desarrollada reproduce un tipo único de capacidades: 1 a 4 generan dinero; 5 trabajo; 6 tierra apta para producir; 7 productos de autoabasto; 8 alegría familiar. (D) Condiciones de los campos sociales. Estas simulan de manera muy estilizada el desenlace favorable o desfavorable de las interacciones de los equipos familiares con otros actores en cada actividad. (E) Préstamo rural con tasas de interés proporcionados por un usurero local, y ahorro rural a través de una ficha de ganado que funciona como el “comodín”.

El objetivo de juego de RVC es que los EFs eviten el colapso o la incapacidad para reproducir sus medios de vida por un periodo de diez años o rondas de juego. Una ronda o ciclo reproductivo inicia decidiendo sobre cuáles actividades (representadas sobre el “río”) se colocarán las fichas de capacidades disponibles, en función de los requerimientos, las capacidades que crea y las probabilidades de reproducción alta/baja implícitas en cada actividad. Las fichas colocadas sobre el subconjunto de actividades elegidas para el año en curso se las lleva el río al final de ese año pues son capacidades ya consumidas. Las fichas de capacidades no empleadas ese año, a excepción del dinero, igualmente se las lleva el río por

ser impermanentes (sólo el dinero es acumulable). A continuación se tira un dado blanco, que define condiciones para la mitad de las actividades, y un dado negro, que define las de la otra mitad. El valor X del dado se coteja contra el valor X_i de la actividad A_i para saber si ese año la actividad A_i genera capacidad alta o baja (es decir, si hubo condiciones más favorables o menos favorables en el campo de negociación con los actores involucrados). Las capacidades creadas al final de un año –colocadas en la parte superior del tablero– se desplazan ahora a la parte inferior del tablero, como capacidades a usarse para el año siguiente. Los EFs pueden tomar dos decisiones adicionales al momento de elegir las actividades que realizarán ese año: 1) solicitar un préstamo de fichas de dinero –a pagar al final de ese mismo año– con una tasa de interés anual del 50 %, y 2) empeñar la vaca que reciben al inicio del juego, a fin de obtener dos fichas de cualquier capacidad requerida. Esta vaca puede recuperarse al principio de los años subsiguientes, pagando por ella dos fichas cualesquiera, pero debe permanecer sin empeñarse todo el año siguiente. Esta vaca es un importante recurso pues juega el papel de “comodín”, pero su uso requiere el hábito de la previsión, la contención y el ahorro.

Los talleres de implementación de Río de la Vida Campesina

RVC se jugó en noviembre de 2017, a través de talleres de implementación, en seis ejidos de la CART. En el conjunto de talleres participaron un total de 44 HRs o 126 personas (jefes, jefas de hogar y jóvenes), apoyados por diez facilitadores (dos investigadores, seis estudiantes de posgrado y dos de licenciatura) y un coordinador general de los talleres. Cada taller tuvo una duración de ocho horas e incluyó sistemáticamente los siguientes siete pasos de instrumentación (figura 3):

- I. Presentación de los objetivos del taller y aplicación de la primera sección de un cuestionario individual sobre las actividades y la toma de decisiones reales desplegadas por los EFs.
- II. Explicación del juego y entrenamiento a los EFs sobre cómo jugarlo.
- III. Desarrollo de una sesión de juego uni-familiar de 10 rondas, seguida de una reflexión colectiva.
- IV. Desarrollo de una sesión de juego multi-familiar de 10 rondas (con la opción de compartir/prestar/intercambiar fichas con otros EFs), seguida de una reflexión colectiva y de un segundo cuestionario sobre los tipos de estrategias que emplean los EFs para sobrellevar situaciones más desafiantes relacionadas a su reproducción social, con o sin ayuda de otras familias.
- V. Mujeres, jóvenes y hombres conversan por separado acerca de la siguiente pregunta: si tuvieras la posibilidad de cambiar uno y sólo un parámetro de este tablero (algún costo, beneficio, o riesgo; las condiciones de ahorro o préstamo), ¿cuál elegirías y por qué?

- VI. Una segunda sesión de juego uni-familiar de diez rondas, en la que –previo a la sesión– cada miembro de los EFS decide cambiar un sólo parámetro del tablero, y en la que el EFS observa las consecuencias –generalmente favorables– de dichos cambios en su dinámica de reproducción.
- VII. Aplicación de un tercer cuestionario relativo a la apreciación general de la herramienta, y la reflexión o *debriefing* (intercambio participativo y sistemático que se conduce después de los ejercicios de juego para compartir sobre la experiencia y los aprendizajes generados; Garcia *et al.*, 2016).

La descripción de los talleres participativos con tres diferentes sesiones de juego (uni-familiar, multi-familiar y uni-familiar con cambios) permite vislumbrar la amplitud de aprendizajes que los HRS pueden explorar a través de RVC. Por razones de espacio, en la siguiente sesión de resultados nos abocaremos a socializar tres aspectos del juego: 1) explorar su espacio de solución a partir de analizar, en un ejercicio académico de validación interna, las trayectorias que resultan de desplegar estrategias cualitativamente diferentes; 2) validar externamente que los EFS identifiquen y reconozcan las actividades, capacidades y decisiones plasmadas en el juego, y que sean capaces de conducirlo por todas sus posibles trayectorias bajo condiciones de probabilidad inciertas (con datos reales); y 3) a partir de la sesión multi-familiar, analizar bajo qué condiciones se da o no la cooperación entre EFS y cuáles son las implicaciones que esta genera sobre las trayectorias de sus MVR. La sesión uni-familiar con cambios constituye materia de un manuscrito en preparación, en el cual analizamos desde la teoría del cambio social, de qué manera los EFS son capaces de pasar del “juego” (reglas predispuestas) al “jugar” (cambiar las reglas del juego) y qué implicaciones tienen las modificaciones que proponen (Vionov *et al.*, 2018) sobre sus trayectorias de vida.

RESULTADOS

Validación interna del juego en la comunidad académica de práctica

Para comprender la diversidad de posibles resultados empíricos que puede generar RVC con los parámetros prescritos, nuestra comunidad de práctica exploró los resultados de estrategias contrastantes de dedicación de capacidades al mantenimiento del hogar y definió los límites superiores e inferiores de las posibles trayectorias bajo dos condiciones distintas: usando la vaca y no usándola.

Primero, exploramos las fronteras superiores del espacio de solución de RVC al simular condiciones siempre favorables en los campos (datos altos) bajo una estrategia de juego con asignación completa de capacidades al mantenimiento del hogar, un balance entre actividades locales que generan y no generan dinero, y siempre recurriendo a las transferencias monetarias del gobierno (tabla 1 estrategia A). Esta estrategia conduce a una trayectoria de equilibrio estacionario o punto fijo en la reproducción de capacidades. Repetimos la estrategia con asignación completa de capacidades al mantenimiento del hogar bajo condiciones de datos



(a) sesión uni-familiar.



(b) sesión multi-familiar.



(c) reflexión grupal.

Figura 3: Experiencias de juego y aprendizaje de tercer orden de los hogares rurales en Río de Vida Campesina.

altos, pero ahora alternamos la recuperación de la vaca y la obtención de dinero vía actividades locales o trabajo migratorio (tabla 1 estrategia B). Dicha estrategia genera una trayectoria rápidamente ascendente de capacidades.

Posteriormente, exploramos la frontera inferior del espacio de solución de RVC simulando condiciones siempre desfavorables en los campos sociales (datos bajos) y conjugándola bajo una estrategia de mínima asignación de capacidades al mantenimiento del hogar, sin uso de la vaca y con una fuerte dependencia de las transferencias monetarias del gobierno (tabla 1 estrategia C). Esta estrategia conduce a una trayectoria descendente de reproducción de capacidades. Finalizamos la validación interna simulando condiciones siempre desfavorables en los datos, con una estrategia de recambio entre niveles bajos y medios de asignación de capacidades al mantenimiento del hogar, con uso de la vaca y alternando el trabajo migratorio y las transferencias monetarias del gobierno (tabla 1 estrategia D). Esta estrategia conduce a una trayectoria oscilatoria con niveles bajos de reproducción de capacidades (para un análisis más detallado del espacio de soluciones de RVC, véase García-Barrios *et al.*, 2020b).

Validación externa del juego con los equipos familiares

Después de explorar el espacio de solución para validar internamente RVC, analizamos hacia qué partes de este espacio se movieron los juegos uni-familiares de los participantes en el taller. Bajo condiciones de incertidumbre en los campos sociales (datos reales), el 27 % (12 EFS) de las 44 familias condujeron el juego por una trayectoria oscilatoria (6-17 fichas), el 25 % (11 EFS) por una trayectoria ascendente lenta (22-41 fichas), otro 25 % descendieron con colapso (0 fichas), y el 23 % (10 EFS) restante descendió lentamente sin colapsar (1-5 fichas) (figura 4). La equifrecuencia en las trayectorias desplegadas por los EFS representa una excelente validación externa del juego. La rápida ascendencia y el equilibrio estacionario, al ser trayectorias teóricas simuladas bajo condiciones siempre favorables o desfavorables en los campos sociales, no pueden ser conducidas en un juego estocástico. Sin embargo, la sesión uni-familiar jugada por los EFS nos permitió identificar que la trayectoria de ascendencia en un juego con datos reales es lenta, y que la trayectoria descendente puede llegar al año diez sin capacidades para seguir reproduciéndose, o bien conducir al colapso temprano en el juego.

Como se puede apreciar en la figura 1 correspondiente al modelo teórico de RVC, y con base en nuestros años de investigación en la zona de estudio y en la literatura sobre economía campesina y ciclos de desarrollo familiar (Chayanov, 1996; Fortes, 1971; van der Ploeg, 2014), durante el diseño del juego planteamos que la actividad rectora de la reproducción de capacidades sería el mantenimiento del hogar. En este sentido, otro aspecto fundamental de la validación externa del juego tuvo que ver con confirmar que, efectivamente, la actividad de mantenimiento del hogar fue central durante la sesión uni-familiar. Para ello, ajustamos un modelo polinomial de grado 3, en el que la variable X es la cantidad total de fichas dedicadas por el EF (a lo largo de los diez años) al mantenimiento del hogar para reproducir la capacidad de trabajo familiar, y la variable Y es la cantidad total de

Tabla 1: Estrategias de reproducción de capacidades simuladas teóricamente por la comunidad académica para explorar las fronteras del espacio de solución del juego.

Año	Empeña	Recupera	Bienestar	Migra	Cultivos I	Cultivos 2	Hogar	Tierras	Autoabasto	Socializa
ESTRATEGIA A (TRAYECTORIA ESTACIONARIA)										
1							Lleno			
2							Lleno			
3							Lleno			
4							Lleno			
5							Lleno			
6							Lleno			
7							Lleno			
8							Lleno			
9							Lleno			
10							Lleno			
ESTRATEGIA B (TRAYECTORIA RÁPIDAMENTE ASCENDENTE)										
1							Lleno			
2							Lleno			
3							Lleno			
4							Lleno			
5							Lleno			
6							Lleno			
7							Lleno			
8							Lleno			
9							Lleno			
10							Lleno			
ESTRATEGIA C (TRAYECTORIA DESCENDENTE)										
1							Lleno			
2							T y D			
3							T y D			
4							T y D			
5							T y D			
6							T y D			
7							T y D			
8							T y D			
9							T y D			
10							T y D			
ESTRATEGIA D (TRAYECTORIA OSCILATORIA)										
1							Lleno			
2							T,D,A			
3							T y D			
4							T,D,A			
5							T y D			
6							T,D,A			
7							T y D			
8							T,D,A			
9							T y D			
10							T,D,A			

fichas de todo tipo obtenidas por el EF al final del año diez. Regresionamos por separado los casos de los EFs que solicitaron niveles altos de préstamo usurario, pues esta decisión con frecuencia conduce al colapso de las capacidades familiares.

Como se puede apreciar en la figura 5, el modelo lineal fue muy significativo para el caso con deudas ($R^2 = 0.23; p < 0.005$). Para el caso sin deudas el mejor ajuste lo produjo una regresión polinomial de grado 3 ($R^2 = 0.34; p < 0.005$). Esto indica que efectivamente el mantenimiento del hogar es la actividad eje de cualquier estrategia de reproducción de capacidades, pero de manera no lineal. Dedicar demasiadas o insuficientes capacidades a generar fichas de trabajo termi-

na por mermar la reproducción total de capacidades. Ello representa otro atributo favorable de parametrización de RVC, ya que a pesar de que los EFs identifiquen el mantenimiento del hogar como el eje central del juego, su reproducción implica ponderar capacidades limitadas con otras actividades de manera no trivial para encontrar un balance adecuado.

Un último aspecto de suma importancia para la validación externa de los juegos de mesa serios radica en explorar si los participantes consideran que lo que hacen en el juego y las dinámicas que este genera son razonablemente similares a las que ocurren en su vida real (García & Speelman, 2017; Speelman *et al.*, 2017). En los cuestionarios aplicados al final de los talleres de implementación de RVC, el 90 % de los EFs expresaron haber comprendido cabalmente las reglas del juego y consideraron que los elementos plasmados en él se parecen mucho a la realidad. El 85 % de los EFs consideraron que el juego representa de una manera muy precisa las dificultades, oportunidades y decisiones que tienen que tomar como familia para asegurar su RS. Para el 70 % de los EFs experimentar y visualizar de conjunto un proceso de planeación dinámica sobre la RS de la vida rural fue un ejercicio totalmente revelador.

Las interacciones entre EFs durante la sesión multi-familiar

En las sesiones de juego multi-familiar se simularon un total de 400 años de vida rural (40 tableros por diez rondas de juego), dentro de los cuales registramos únicamente 35 interacciones de juego entre EFs. 15 de estas interacciones correspondieron a eventos de préstamo de un EF a otro, y 20 a intercambios pareados de fichas (de un tipo por otra). En estos 35 eventos hubo un total de 55 movimientos de fichas: 20 de dinero, 20 de trabajo y 15 de tierra. La cantidad de fichas por movimiento varió de una a tres, siendo una sola ficha el movimiento más frecuente. Del total de años de RS, solamente en un 11 % tuvieron lugar interacciones entre EFs (considerando 9 eventos de devolución de fichas). A pesar del porcentaje tan bajo de interacción, el colapso de EFs disminuyó del 22 % registrado durante la sesión uni-familiar al 7 % en la sesión multi-familiar.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A través de los resultados presentados en este trabajo hemos mostrado cómo RVC es un juego de mesa serio capaz de simular diferentes estrategias y trayectorias en los medios de vida de los HRS. Más que un juego micro-económico enfocado a poner de manifiesto una racionalidad tendiente a la maximización monetaria de la población rural, RVC entraña un juego socioecológico de decisiones interdependientes y adaptativas, mediadas por interacciones culturales que ocurren en la propia familia campesina y entre esta y otros actores. RVC busca capturar las capacidades valoradas y las complicadas dinámicas de RS de las familias campesinas en contextos rurales dados. La base social queda muy bien representada en el juego, ya que en la herramienta se ponen de manifiesto los repertorios históricos de una región campesina, los campos de poder, las cada vez más frecuentes movilidades geográficas, así como los comportamientos objetivos y subjetivos de los HRS, todos

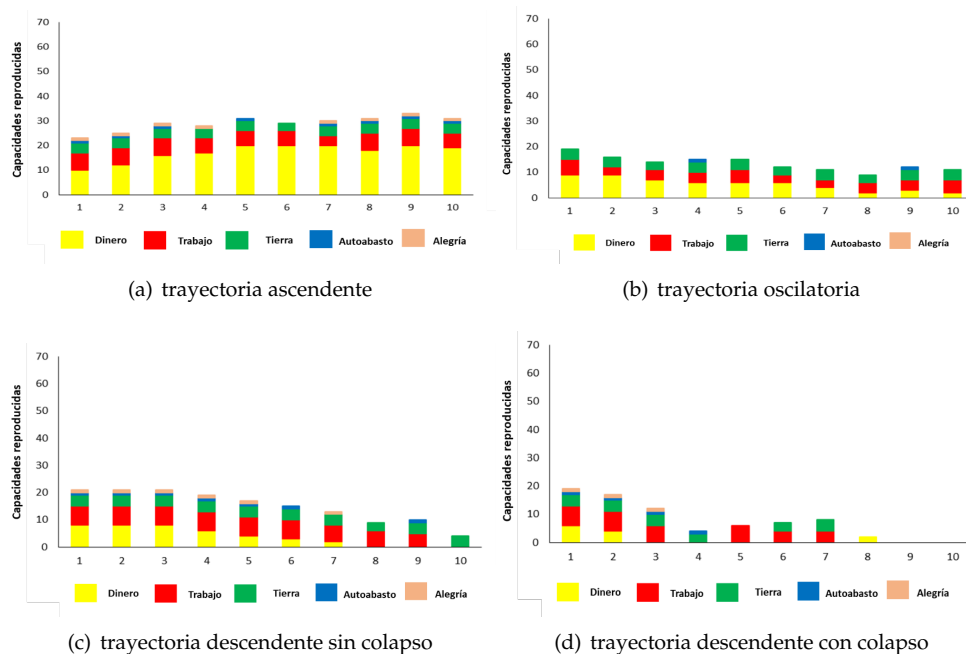


Figura 4: Trayectorias reales de reproducción de capacidades de los equipos familiares durante el juego uni-familiar.

ellos concebidos de manera dinámica y multidimensional, y no bajo los supuestos estrictamente rígidos de las aproximaciones estructuralistas de los MVR (como señalan de Haan & Zoomers, 2005; Scoones, 2009). Son precisamente los atributos dinámicos y multidimensionales de RVC los que permiten desarrollar un mapeo iterativo y a diferentes niveles de la ponderación intencionada, consciente y, a la vez, culturalmente predeterminada de la toma de decisiones de los hogares sobre sus medios de vida (estrategias), así como de los comportamientos de RS que la reevaluación constante de las estrategias va generando en el tiempo (trayectorias) (Scoones & Wolmer, 2002).

Otro elemento intrínseco al enfoque teórico de los MVR que logra poner en juego RVC son los roles de género, intergeneracionales y las microfísicas del poder que se negocian al interior de los HRS, en tanto unidades socioeconómicas básicas para la toma de decisiones sobre la reproducción de la vida (Long, 1984; McNetting, 1993; Agarwal, 1997; Ellis, 1998; Rivera-Núñez *et al.*, 2020). El juego lo ejecutan madre, hija(o) y padre pues sabemos que, a pesar de compartir residencia, consumo, capacidades y patrimonios, no debemos concebir a los HRS como unidades homogéneas en intereses y simétricas en participación, sino como espacios sujetos a procesos constantes de pacto y deliberación entre sus miembros (de Haan & Zoomers, 2005; véase el juego *Gente en el Campo*, editado por Castro-Salcido, 2019).

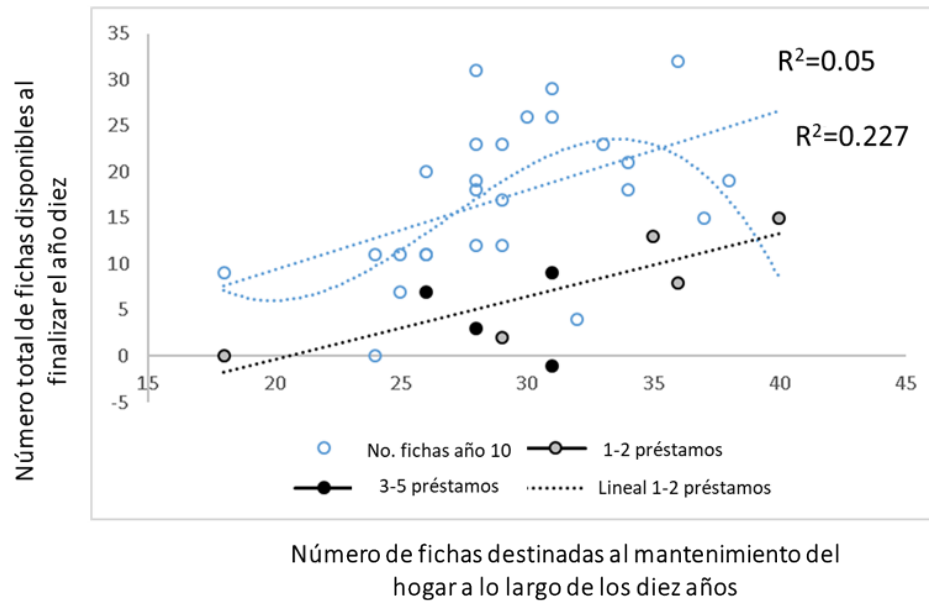


Figura 5: Regresión lineal y polinomial sobre la relación entre la cantidad de fichas dedicadas en el juego al mantenimiento del hogar y la cantidad de fichas reproducidas al finalizar el año 10. $n = 44$ hogares, en azul los hogares que no solicitaron préstamo (modificada de García-Barrios *et al.*, 2020b).

Durante las sesiones familiares de RVC observamos que el juego tiene una gran capacidad de fomentar procesos de “cooperación sustantiva” (García-Barrios *et al.*, 2008) al interior de los HRs, esto es, de toma de decisiones y mediaciones familiares que conjugan arraigos históricos, normas comunitarias, lazos de solidaridad, relaciones de confianza y evaluación estratégica de capacidades en sociedades campesinas bajo constantes dinámicas de transformación.²

Un atributo notable de RVC es que representa una aproximación participativa y de aprendizaje inmanente, en la cual, a diferencia de los enfoques intervencionistas, no se predisponen directrices externas sobre cómo se deben mejorar las condiciones de los medios de vida rurales (Morse y McNamara, 2013), sino que a través del propio juego las familias van descubriendo las implicaciones del manejo de las capacidades (García & Speelman, 2017), los campos sociales y la toma de decisiones sobre su RS. Ello se logra debido a que un juego de mesa serio precisamente expresa esa doble capacidad de identificación y adentramiento de los jugadores en sus propios contextos e historias personales, así como explicitar los vínculos entre los escenarios virtuales y las situaciones del mundo real (Barreteau *et al.*, 2003;

² En la siguiente liga de video se muestra detalladamente el proceso de toma de decisiones de un EF durante una sesión uni-familiar de RVC: <https://www.youtube.com/watch?v=t7qq5J61qkM&list=UUxNCWAqBZQv2LBxA30CnX4g&index=1>

Etienne, 2014). Las propias familias rurales nos han manifestado que jugar RVC es como ponerse frente a un espejo para hacer evidentes sus prácticas de vida cotidianas y, a partir de ahí, reforzar las virtudes y explorar en un espacio seguro y de bajo costo social algunas limitaciones (García *et al.*, 2016). Para Bebbington (1999) y Devereux (2001), fomentar la autopercepción de los hogares rurales marginados es uno de los pasos precedentes y fundamentales para la generación de nuevas realidades materiales.

Hay que destacar también el alcance de RVC como un simulador social que incorpora, de manera equilibrada, procesos nomotéticos (modelos con alto grado de abstracción) e ideográficos (modelos históricamente situados) de investigación (Gilbert & Ahrweiler, 2006). En su dimensión nomotética, RVC logra capturar los balances campesinos (van der Ploeg, 2014), la interconexión de los capitales sociales, culturales, económicos y políticos (Bourdieu, 1986), la inmersión en campos sociales (Bourdieu 1980), y las arenas e interfaces de acción (Long, 2003; Ostrom, 2009) comunes a la RS de cualquier HR. En su dimensión ideográfica, RVC plasma algunos aspectos altamente contextuales e históricos de la región campesina en función: como las actividades productivas, el tipo de migraciones laborales, los programas de subsidios a la pobreza, la importancia de acudir al templo, el papel del ganado en el ahorro familiar, la aversión a contraer préstamos con los usurarios rurales, así como la posibilidad de parametrizar cada uno de estos componentes de una manera amigable para los(as) jugadores(as).

A pesar de la inminente pertinencia de RVC y de sus valiosos alcances en la problematización de la RS desde, con y para las familias rurales, resulta preciso señalar que este juego de mesa entraña una herramienta participativa de investigación que sienta las bases para detonar procesos de aprendizaje social, de manera inicial. En las aproximaciones más críticas de estudios socioecológicos, para poder hablar en profundidad de aprendizaje social dentro de un proceso investigativo se tienen que demostrar de manera conjunta: a) los cambios que han tenido lugar en el entendimiento de los individuos involucrados, b) que dichos cambios vayan del nivel individual al social o a las comunidades de práctica, y c) que los cambios de entendimiento realmente conduzcan al emprendimiento de acciones y lleguen a constituir colectividades y redes de transformación social (Reed *et al.*, 2010). En este sentido, es importante para nuestra comunidad académica de diseño e implementación de juegos ahondar en la etapa final de seguimiento de estas herramientas metodológicas, tanto en materia de incorporar técnicas de investigación psicológicas, educativas y sociológicas para recuperar, procesar y evaluar detalladamente los aprendizajes detonados, así como para sistematizar y acompañar dichos aprendizajes hacia el cambio social (White *et al.*, 2005). En un tercer texto, en proceso, estamos elaborando justamente sobre el potencial de RVC de ser aplicado desde la teoría del cambio social para conocer cómo los HRs modifican las reglas del juego, y de qué manera ello podría conducir a imaginar y promover transformaciones reales en sus condiciones de RS.

Por último, consideramos que RVC es una herramienta de investigación con un alto valor heurístico y con potencial de transferencia a una gran cantidad de

contextos rurales alrededor del mundo. Tal y como se expresa en la figura 2 de la sección metodológica, el arreglo de los componentes dentro del tablero, la lógica de reproducción temporal propuesta y la sencilla mecánica de juego, representan los elementos básicos a considerar para generar una adaptación de RVC a las condiciones de cualquier otra zona rural. Para ello, es necesario un conocimiento amplio y profundo de las realidades rurales para lograr una parametrización del juego capaz de reproducir las diferentes trayectorias observables en la región y, sobre todo, conseguir que los participantes se sientan identificados con la herramienta y que detone los procesos de aprendizaje buscados. A propósito de lo anterior, estamos interesados en generar una plataforma computacional interactiva sobre RVC, con instrucciones sencillas de parametrización a diferentes contextos rurales y campesinos que incluya el cuestionario de seguimiento del juego, un chat de jugadores y procesos automáticos de captura de decisiones y conteo de fichas que nos permitan desarrollar análisis más amplios, sistemáticos y transculturales (Barreteau *et al.*, 2001; Gilbert & Troitzsch, 2005; Janssen *et al.*, 2010; Poteete *et al.*, 2010).

REFERENCIAS

- Agar, M. (2005). Agents in living color: Towards emic agent-based models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(1). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/1/4.html>
- Agarwal, B. (1997). "Bargaining" and gender relations: Within and beyond the household. *Feminist economics*, 3(1), 1–51.
- Barkin, D. (2002). The reconstruction of a modern Mexican peasantry. *The Journal of Peasant Studies*, 30(1), 73–90.
- Barreteau, O., Bousquet, F. & Attonaty, J.M. (2001). Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems: method and lessons of its application to Senegal River Valley irrigated systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(2). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/2/5.html>
- Barreteau, O., Antona, M., D'Aquino, P., Aubert, S., Boissau, S., Bousquet, F., Daré, W., Etienne, M., Le Page, C., Mathevet, R., Trébuil, G., Weber, J. & Trébuil, G. (2003). Our companion modelling approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(2). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/1.html>
- Bebbington, A. (1999). Capitals and Capabilities: A Framework for Analysing Peasant Viability, Rural Livelihoods and Poverty. *World Development*, 27(12), 2021–2044.
- Bourdieu, P. (1973). *Cultural reproduction and social reproduction*. London: Tavistock.
- Bourdieu, P. (1980). *The Logic of Practice*. Cambridge: Polity Press.
- Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In: J.G. Richardson (ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). New York: Greenwood.
- Bourdieu, P. (1998). *Practical reason: On the theory of action*. Stanford University Press.
- Bousquet, F., Barreteau, F., D'Aquino, P., Etienne, M., Boissau, S., Aube, R.S., Page, C.L., Babin, D. & Castella, J.C. (2002). Multi-agent systems and role games: An approach for ecosystem co-management. In: M.A. Janssen (ed.), *Complexity and ecosystem management: The theory and practice of multi-agent approaches* (pp. 249–285). Northampton: Edward Elgar Publishers.

- Braasch, M., García-Barrios, L., Cortina-Villar, S., Huber-Sannwald, S. & Ramírez-Marcial, N. (2018). TRUE GRASP: Actors visualize and explore hidden limitations of an apparent win-win land management strategy in a MAB Reserve. *Environmental Modelling & Software*, 105, 153–170.
- Castro-Salcido, E. (ed.) (2019). *Gente en el Campo. Un juego de mesa para el diálogo intergeneracional entre jóvenes y adultos que viven en territorios campesinos*. El Colegio de la Frontera Sur.
- Chambers, R. & Conway, G. (1992). *Sustainable Rural Livelihoods: Practical Concepts for the 21st Century* (IDS Discussion Paper 296). Institute of Development Studies.
- Chappell, M.J., Wittman, H., Bacon, C., Ferguson, B., García-Barrios, L., García-Barrios, R., Jaffee, D., Lima, J., Méndez, E.V., Morales, H.L., Soto-Pinto, L., Vandermeer, J. & Perfecto, I. (2013). Food sovereignty: an alternative paradigm for poverty reduction and biodiversity conservation in Latin America. <https://f1000research.com/articles/2-235/v1>
- Chayanov, A. (1966). *The theory of peasant economy*. Homewood: Irwin.
- Cornelius, W. & Myhre, D. (1998). *The transformation of rural Mexico*. Center for US-Mexican Studies, University of California.
- Cruz-Morales, J. (ed.) (2018). *Familia y vida campesina en la frontera sur: caminos de escucha transdisciplinarios*. ECOSUR; Universidad Autónoma Chapingo.
- Cruz-Morales, J. (2014). Desafíos para construir la democracia ambiental en la Cuenca Alta del Río El Tablón, Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas, México. En: C. Legorreta Díaz, C. Marquez Rosano y T. Trench (coords.), *Paradojas de las tierras protegidas: Democracia y política ambiental en reservas de la biosfera en Chiapas* (pp. 21–60). CEIICH-UNAM; CRIM-UNAM; Universidad Autónoma Chapingo.
- de Haan, L. & Zoomers, A. (2005). Exploring the frontier of livelihoods research. *Development and Change*, 36(1), 27–47.
- de la O Campos, A.P., Villani, C., Davis, B. & Takagi, M. (2018). *Ending extreme poverty in rural areas – Sustaining livelihoods to leave no one behind*. Rome: FAO.
- Debnath, R. & Bardhan, R. (2018). Resource Symbiosis Model through bricolage: A livelihood generation assessment of an Indian village. *Journal of Rural Studies*, 60, 105–121.
- den Haan, R.J. & van der Voort, M.C. (2018). On Evaluating Social Learning Outcomes of Serious Games to Collaboratively Address Sustainability Problems: A Literature Review. *Sustainability*, 10(12), 4529.
- Devereux, S. (2001). Livelihood Insecurity and Social Protection: A Re-emerging Issue in Rural Development. *Development Policy Review*, 19(4), 507–19.
- Ellis, F. (1998). Survey Article: Household Strategies and Rural Livelihood Diversification. *Journal of Development Studies*, 35(1), 1–38.
- Ellis, F. (2000). *Rural Livelihoods and Diversity in Developing Countries*. Oxford University Press.
- Etienne, M. (2014). *Companion Modelling: A Participatory Approach to Support Sustainable Development*. Springer.
- Fals-Borda, O. & Rahman, M.A. (1991). *Action and knowledge: breaking the monopoly with participatory action-research*. New York: Apex Press.
- Fazey, I. (2010). Resilience and higher order thinking. *Ecology and Society*, 15(3), 9.
- Fletcher, R. (2019). On exactitude in social science: A multidimensional proposal for investigating articulated neoliberalization and its 'alternatives'. *Ephemera: Theory & Politics in Organization*, 19(3), 541–566.

- Fortes, M. (1971). Introduction. In: J. Goody (ed.), *The developmental cycle in domestic groups* (pp. 1–14). Cambridge University Press.
- Freire, P. (1973). *¿Extensión o comunicación? La concientización en el medio rural*. Ed. Siglo XXI.
- García, C., Dray, A. & Waeber, P. (2016). Learning begins when the game is over: Using games to embrace complexity in natural resources management. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 25(4), 289–291.
- García, C. & Speelman, E. (2017). Landscape approaches, wicked problems and role playing games. *Tropenbos International ComMod Workshop. For Dev Working Pap*, 1, 1–20.
- García-Barrios, L. y Cruz-Morales, J. (2018). Manual de Río de Vida Campesina. En: J. Cruz-Morales (ed.), *Familia y vida campesina en la frontera sur: caminos de escucha transdisciplinarios* (pp. 29–40). ECOSUR; Universidad Autónoma Chapingo.
- García-Barrios, L. y González-Espinosa, M. (2017). Investigación ecológica participativa como apoyo de procesos de manejo y restauración forestal, agroforestal y silvopastoril en territorios campesinos. Experiencias recientes y retos en la sierra Madre de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 129–140.
- García-Barrios, L., Álvarez-Solís, D., Brunel-Manse, M.C., Cruz-Morales, J., García-Barrios, R., Hernández-Ramírez, F., Hollander, A., Jackson, L., Meza Jiménez, A., Morales Díaz, C., Nahed Toral, J., Oleta Barrios, J., Ramírez Salazar, A., Ruíz Rodríguez, M., Sanfiozenzo, C., Smith, J., Speelman, E., Tenza Perales, A., Toupet, A.-L... y Ejidatarios participantes de la CART (2012). Innovación socioambiental en la cuenca alta del río El Tablón (CART), sierra de Villaflores, Chiapas. Objetivo, estrategia y métodos de investigación-acción participativa. En: E. Bello-Baltazar, E.J. Naranjo-Piñera y R. Vandame (eds.), *La otra innovación para el ambiente y la sociedad en la frontera sur de México* (pp. 145–170). San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de la Frontera Sur.
- García-Barrios, L., Perfecto, I. & Vandermeer, J. (2016). Azteca chess: Gamifying a complex ecological process of autonomous pest control in shade coffee. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232, 190–198.
- García-Barrios, L., Cruz-Morales, J., Vandermeer, J. & Perfecto, I. (2017). The Azteca chess experience: learning how to share concepts of ecological complexity with small coffee farmers. *Ecology and Society*, 22, 37.
- García-Barrios, L., García-Barrios, R., Waterman, A. & Cruz-Morales, J. (2011). Social dilemmas and individual/group coordination strategies in a complex rural land-use game. *International Journal of the Commons*, 5, 364–387.
- García-Barrios, L., García-Barrios, R., Cruz-Morales, J. & Smith, J.A. (2015). When death approaches: reverting or exploiting emergent inequity in a complex land-use table-board game. *Ecology and Society*, 20, 13.
- García-Barrios, L., Cruz-Morales, J., Braasch, M., Dechnik-Vázquez, Y., Gutierrez-Navarro, A., Meza-Jiménez, A., Rivera-Núñez, T., Speelman, E., Trujillo-Díaz, G., Valencia, V. & Zabala-Aizpuru, A. (2020a). Challenges for rural livelihoods, participatory agroforestry and biodiversity conservation in a neotropical biosphere reserve in Mexico. In: C. Baldauf (ed.), *Participatory Biodiversity Conservation: Concepts, Experiences and Perspectives* (pp. 69–89). Springer.
- García-Barrios, L., Rivera-Núñez, T., Cruz-Morales, J., Urdapilleta-Carrasco, J., Castro-Salcido, E., Peña-Azcona, I., Martínez-López, O., López-Cruz, A., Morales, M. & Espinoza, J. (2020b). The Flow of Peasant Lives: a board game that simulates livelihood strategies and trajectories derived from complex rural household's decisions. *Ecology & Society*, 25(4), 48.

- García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y.M., Valsieso-Pérez, I.A., Masera, O.R., Bocco, G. & Vandermeer, J. (2009). Neotropical forest conservation, agricultural intensification, and rural out-migration: The Mexican experience. *BioScience*, 59(10), 863–873.
- García-Barrios, R., de la Tejera-Hernández, B. y Appendini, K. (coords.) (2008). *Instituciones y desarrollo: ensayos sobre la complejidad del campo mexicano*. UNAM; Colegio de México; Universidad Autónoma Chapingo.
- Gilbert, N. & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. London: McGraw-Hill Education.
- Gilbert, N. & Ahrweiler, P. (2006). The epistemologies of social simulation research. In: F. Squazzoni (ed.), *Epistemological Aspects of Computer Simulation in the Social Sciences* (pp. 12–28). Springer.
- Godelier, M. (1991). *Lo ideal y lo material. Pensamiento, economías, sociedades*. Madrid: Editorial Taurus.
- Harvey, C.A., Komar, O., Chazdon, R., Ferguson, B.G., Finegan, B., Griffith, D.M., Martínez-Ramos, M., Morales, H., Nigh, R., Soto-Pinto, L., Van Breugel, M., & Wishnie, M. (2008). Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. *Conservation Biology*, 22, 8–15.
- Herrera, O.B., Parra, M., Livscovsky, I., Ramos, P. & Gallardo, D. (2017). Lifeways and territorial innovation: values and practices for promoting collective appropriation of territory. *Community Development Journal*, 54(3), 427–445. <https://doi.org/10.1093/cdj/bsx052>
- Holliday, O.J. (2010). Popular education and social change in Latin America. *Community Development Journal*, 45(3), 287–286.
- Janssen, M.A., Holahan, R., Lee, A. & Ostrom, E. (2010). Lab experiments for the study of social-ecological systems. *Science*, 328(5978), 613–617.
- Janssen, M.A. & Ostrom, E. (2006). Empirically based, agent-based models. *Ecology and Society*, 11, 37–49.
- Kay, C. (2008). Reflections on Latin American rural studies in the neoliberal globalization period: a new rurality? *Development and Change*, 39(6), 915–943.
- Long, N. (1984). *Family and Work in Rural Societies*. London: Tavistock Publications.
- Long, N. (2003). *Development sociology: actor perspectives*. New Jersey: Routledge.
- Magliocca, N. R., Brown, D.G. & Ellis, E.C. (2013). Exploring agricultural livelihood transitions with an agent-based virtual laboratory: global forces to local decision-making. *PLoS One*, 8(9), e73241.
- McNetting, R. (1993). *Smallholders, Householders: farm families and the ecology of intensive, sustainable agriculture*. Stanford University Press.
- Meza-Jiménez, A., García-Barrios, L., Saldivar-Moreno, A. & Vera-Noriega, J.A. (2016). Design and evaluation of educational socio-environmental games to identify attitudes, motivations and decisions of smallholder contemporary rural youth. *EDUCARE*, 20, 1–36.
- Morse, S. y McNamara, N. (2013). *Sustainable livelihood approach: A critique of theory and practice*. Springer Netherlands.
- Narotzky, S. (2004). *Antropología económica. Nuevas tendencias*. Barcelona: Melusina.
- Olsson, L., Opondo, M., Tschakert, P., Agrawal, A., Eriksen, S.H., Ma, S., Perch, L.N. & Zakieldean, S.A. (2014). Livelihoods and poverty. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L.White,

- (eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 793–832). Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2009). *Understanding Institutional Diversity*. Princeton University Press.
- Perfecto, I. & Vandermeer, J. (2010). The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13), 5786–5791.
- Poteete, A.R., Janssen, M.A. & Ostrom, E. (2010). *Working together: collective action, the commons, and multiple methods in practice*. Princeton University Press.
- Rebañ, N. & Alvarado-Vélez, J.A. (2018). Trajectories of Vulnerability of Rural Territories in the Ecuadorian Andes: A Comparative Analysis. *Journal of Alpine Research*, 106–3. <https://doi.org/10.4000/rga.4969>
- Redpath, S.M., Keane, A., Andrén, H., Baynham-Herd, Z., Bunnefeld, N., Duthie, A.B., Frank, J., Garcia, C.A., Månsson, J., Nilsson, L., Pollard, C.R.J., Rakotonarivo, O.S., Salk, C.F. & Travers, H. (2018). Games as tools to address conservation conflicts. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(6), 415–426.
- Reed, M.S., Evely, A.C., Cundill, G., Fazey, I., Glass, J., Laing, A., Newig, J., Parrish, B., Prell, C., Raymond, C. & Stringer, L. C. (2010). What is social learning? *Ecology and Society*, 15(4), r1.
- Richiardi, M.G., Leombruni, R., Saam, N.J. & Sonnessa, M. (2006). A common protocol for agent-based social simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 9(1).
- Rivera-Núñez, T., Estrada-Lugo, E., García-Barrios, L., Lazos, E., Gracia, M.A., Benítez, M., Rivera-Yoshida, N. & García-Herrera, R. (2020). Peasant micropower in an agrifood supply system of the Sierra Madre of Chiapas, Mexico. *Journal of Rural Studies*, 78, 185–198.
- Sallu, S.M., Twyman, C. & Stringer, L.C. (2010). Resilient or vulnerable livelihoods? Assessing livelihood dynamics and trajectories in rural Botswana. *Ecology and Society*, 15(4), 3.
- Schusler, T.M., Decker, D.J. & Pfeffer, M.J. (2003). Social learning for collaborative natural resource management. *Society & Natural Resources*, 16(4), 309–326.
- Scoones, I. (1998). *Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis* (IDS Working Paper 72). Institute of Development Studies.
- Scoones, I. (2009). Livelihoods perspectives and rural development. *The Journal of Peasant Studies*, 36(1), 171–196.
- Scoones, I. & Wolmer, W. (2002). *Pathways of Change in Africa. Crops, Livestock and Livelihoods in Mali, Ethiopia and Zimbabwe*. Oxford: James Currey.
- Speelman, E., García-Barrios, L., Groot, J. & Tiftonell, P. (2013). Gaming for smallholder participation in the design of more sustainable agricultural landscapes. *Agricultural Systems*, 126, 62–75.
- Speelman, E., Groot, J., García-Barrios, L., Kok, K., van Keulen, H. & Tiftonell, P. (2014). From coping to adaptation to economic and institutional change: trajectories of change in land use management and social organization in a Biosphere Reserve community, Mexico. *Land Use Policy*, 41, 31–44.
- Tenza-Peral, A., García-Barrios, L. y Giménez-Casaldueiro, A. (2011). Agricultura y conservación en Latinoamérica en el siglo XXI: ¿Festejamos la 'transición forestal' o construimos activamente 'la matriz de la naturaleza'? *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 36(7), 500–507.

- van den Berg, M. (2010). Household income strategies and natural disasters: Dynamic livelihoods in rural Nicaragua. *Ecological Economics*, 69(3), 592–602.
- van der Ploeg, J.D. (2014). *Peasants and the Art of Farming: A Chayanovian Manifesto*. Fernwood Publishing.
- White, R., Fischer, A., Hansen, H.P., Varjopuro, R., Young, J. & Adamescu, M. (2005). *Conflict management, participation, social learning and attitudes in biodiversity conservation* (ALTER-Net document WPR4-2005-03, Project no. GOCE-CT-2003-505298). Alter-Net Project.
- Zabala, A., Pascual, U. & García-Barrios, L. (2017). Payments for pioneers? Revisiting the role of external rewards for sustainable innovation under heterogeneous motivations. *Ecological Economics*, 135, 234–245.

⊙ *Esta es una página en blanco.* ⊙

CAMBIO Y RESILIENCIA EN UN SISTEMA SOCIOECOLÓGICO DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Gabriel Ramos-Fernández^{1}, Martha Bonilla-Moheno², Eduardo García-Frapolli³,
Celene Espadas Manrique⁴, Luis Guillermo García-Jácome⁵,
Mariana Benítez⁶ y Coral E. Rangel Rivera⁷*

¹ Departamento de Modelación Matemática de Sistemas Sociales, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM, CDMX, México.

² Red de Ambiente y Sustentabilidad, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz, México.

³ Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM, Morelia, Michoacán, México.

⁴ Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

⁵ Facultad de Ciencias, UNAM, CDMX, México.

⁶ Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, UNAM, CDMX, México.

⁷ ConMonoMaya A.C., Chemax, Yucatán, México.

AGRADECIMIENTOS: Instituto Politécnico Nacional, Centro de Ciencias de la Complejidad.

FINANCIAMIENTO: Centro de Ciencias de la Complejidad; CONACYT 157656; PAPITT IA-200720; National Geographic; PROCER/DRPYCM/2/2015.

1. INTRODUCCIÓN

El enfoque socioecológico considera de forma integral los componentes sociales, económicos y ecológicos que determinan la dinámica de un sistema (en adelante, sistema socioecológico o SSE). Este enfoque es importante para entender y en ocasiones predecir los procesos de cambio y la resiliencia del SSE, y así determinar la forma en la que las poblaciones humanas podrían continuar aprovechando los recursos naturales frente a cambios en las condiciones internas y externas del sistema. Entender las interacciones entre los humanos y su entorno natural, a partir de un enfoque socioecológico, implica reconocer que tanto los elementos del ecosistema como los grupos humanos, forman parte de un sistema acoplado que funciona de manera sinérgica (Berkes y Folke, 1998). Conceptualmente, la aproximación socioecológica reconoce que los componentes y procesos de los ecosistemas naturales se encuentran íntimamente influenciados por los procesos que ocurren en los sistemas sociales y viceversa.

* Autor de correspondencia: Tel. +55 56223555. / ramosfer@alumni.upenn.edu

Es importante vincular el enfoque de los SSE con el más general de los sistemas complejos. Estos son aquellos sistemas en los que surgen propiedades emergentes de las interacciones entre sus componentes, además de relaciones de retroalimentación entre la totalidad y las partes. Los SSE están compuestos de múltiples subsistemas y variables internas de manera anidada, análoga a los organismos vivos, en donde podemos observar procesos de auto-organización (Ostrom, 2009). Por ello, los SSE no pueden ser analizados fraccionando o dividiendo el sistema en un conjunto de elementos que corresponden a un dominio disciplinario (García, 1994). En el caso de los SSE, una de las propiedades globales más notorias es su resiliencia, entendida como su capacidad para mantener su estructura y funcionamiento a pesar de perturbaciones externas (Walker *et al.*, 2004). Esta propiedad global de los SSE es un elemento esencial para entender la permanencia del sistema dentro de cierto estado y sus límites, la cual está relacionada con la capacidad de enfrentar la incertidumbre y el cambio (Folke *et al.*, 2010).

Por otro lado, en todo sistema complejo existen interacciones entre los componentes que no necesariamente responden a las propiedades globales del sistema, sino que dependen de características más locales. Por ejemplo, los hogares en un SSE pueden tomar decisiones basándose en su propio bienestar o en el de la comunidad a la que pertenecen, sin necesariamente tomar en cuenta la abundancia global de recursos en su entorno, ni las consecuencias a largo plazo de sus acciones. Es sólo cuando existe una retroalimentación de lo global a lo local que los componentes pueden ajustar sus decisiones respecto a las propiedades globales del sistema al que pertenecen. Por ejemplo, en un SSE pueden existir acuerdos o instituciones a nivel comunitario que involucren escalas espacio-temporales más amplias sobre el uso de recursos, influyendo en las decisiones de manejo de recursos de cada hogar. De esta forma, no sólo los factores ecológicos y sociales quedan interrelacionados, sino que las escalas a las cuales ocurren las decisiones sobre el uso de los recursos se afectan mutuamente.

En este capítulo revisamos las características sociales, económicas y ecológicas del área natural protegida (ANP) *Otoch Ma'ax Yetel Kooch*, situada en el noreste de la península de Yucatán. Utilizamos el enfoque de SSE para integrar la información recolectada durante los últimos 20 años e investigamos cuáles son los determinantes más importantes de la resiliencia del sistema, tanto a nivel del uso de recursos naturales como de su gestión, a nivel individual y comunitario. Para explorar tanto la forma en la que el sistema adquiere su resiliencia como algunos escenarios futuros, utilizamos un modelo computacional dinámico, basado en información sobre los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo, la población de monos araña (*Ateles geoffroyi*), una especie clave para el ecosistema y para las poblaciones humanas, y sobre los cambios temporales en las actividades económicas que llevan a cabo las poblaciones humanas de la zona.

2. ANTECEDENTES: OMYK COMO SITIO DE ESTUDIO

Otoch Ma'ax Yetel Kooch (OMYK, "Casa del mono y el puma" en maya yucateco) es un área de protección de flora y fauna (APFF) situada en la parte noreste de la península de Yucatán, cerca del sitio arqueológico de Cobá, en la frontera entre los estados de Yucatán y Quintana Roo (fig. 1). El clima regional es altamente estacional, con lluvias de mayo a noviembre. La región está caracterizada por grandes fragmentos de áreas de selva en diferentes etapas de sucesión y una baja densidad poblacional.

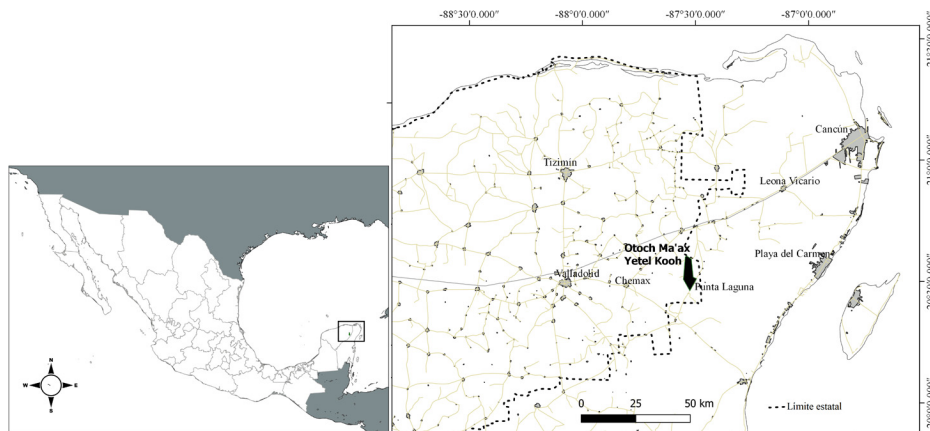


Figura 1: Localización del área natural protegida *Otoch Ma'ax Yetel Kooch*. Al interior del polígono se encuentra la comunidad de Punta Laguna.

OMYK, también conocida como la reserva de Punta Laguna (por el nombre de la comunidad que se encuentra dentro del ANP), fue decretada como área protegida federal en el año 2002 después de una iniciativa comunitaria (García-Frapolli *et al.*, 2009; García-Frapolli *et al.*, 2013). La reserva tiene una extensión de 5,367 hectáreas y se encuentra bajo la administración de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), aunque la población local participa activamente en esta tarea a través de diferentes instituciones formales e informales que se han creado a través del tiempo.

En toda la región, la selva forma un paisaje heterogéneo compuesto por un mosaico de vegetación en diferentes etapas sucesionales resultado de la agricultura tradicional (milpa), y de múltiples perturbaciones naturales como huracanes e incendios forestales (Bonilla-Moheno, 2008; Rangel-Rivera, 2017). La vegetación original de la zona se clasifica como selva estacional semiperenne (Pennington y Sarukhan, 2005), donde se han identificado alrededor de 300 especies vegetales, siendo *Manilkara zapota* (Sapotaceae) y *Brosimum alicastrum* (Moraceae) las más abundantes en la selva madura. Otras especies comunes son *Bursera simaruba* (Burceraceae), *Piscidia piscipula* (Fabaceae) y *Metopium brownei* (Anacardiaceae). A pesar de su área relativamente pequeña, el sitio alberga una alta biodiversidad y está

habitado por múltiples especies en peligro de extinción, como el mono araña (*Ateles geoffroyi*), el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Puma concolor*) y el mono aullador (*Alouatta pigra*) (CONANP, 2006). Además, se han registrado al menos 215 especies de aves, 22 especies de mamíferos y más de 200 especies de plantas (19 endémicas) en el sitio (CONANP, 2006). Muchas especies de plantas se usan localmente para medicina, construcción o artesanías (CONANP, 2006).

Uno de los principales valores ecológicos del sitio es la presencia de poblaciones saludables de mono araña, que habitan alrededor de la laguna principal y en los parches de vegetación madura y secundaria, y que han sido objeto de estudio desde 1996 (Ramos Fernández *et al.*, 2018). De hecho, la importancia de este sitio para la conservación del mono araña fue la principal justificación para que, en el 2002, después de 30 años de esfuerzos locales, la zona se decretara como ANP. Esta área ha sido considerada dentro de los sitios prioritarios para la conservación de primates en México (Tobón *et al.*, 2012). Además de su valor para la conservación, al ser una especie clave del ecosistema que mantiene la diversidad vegetal a través de la dispersión de semillas, la importancia de los monos araña para la población local radica en que estos representan el principal atractivo turístico del sitio, por lo que son una importante fuente de ingresos para los pobladores locales.

Como en muchas otras comunidades mayas yucatecas, en Punta Laguna los hogares utilizan los recursos naturales a través de una estrategia de manejo de uso múltiple (García-Frapolli *et al.*, 2008). Además de la cosmovisión maya yucateca que establece las bases de las actividades productivas (Barrera-Bassols y Toledo, 2005), la estrategia en Punta Laguna se sustenta en la realización simultánea de varias prácticas productivas, cuya intensificación depende no sólo de factores como la demografía, sino también del abanico de oportunidades económicas y del acceso a nuevos mercados. Como en el caso de muchos otros grupos campesinos e indígenas de México, una parte de su producción está enfocada a la autosubsistencia y otra parte se dirige hacia los mercados (Toledo *et al.*, 2003).

Esta estrategia de uso múltiple se refleja en el número de actividades productivas que los hogares han implementado y en el número de paisajes o unidades de producción que manejan. Por ejemplo, el área de selva madura se utiliza actualmente para turismo e investigación científica. En el área de selva secundaria se llevan a cabo actividades como la cacería, la recolección de leña y de plantas medicinales. En las áreas destinadas para la milpa, además de la siembra de múltiples especies, se lleva a cabo la apicultura, la producción de carbón vegetal, la cacería y la recolección de leña. En los solares de los hogares encontramos los huertos familiares, que juegan un papel muy importante en el manejo de los recursos. Finalmente, el sistema acuático (laguna y cenotes) se utiliza para las actividades turísticas. Esta forma de apropiación de los recursos naturales ha permitido a los habitantes de Punta Laguna diversificar sus fuentes de alimento e ingreso (García-Frapolli *et al.*, 2007).

Debido a la cercanía de la Riviera Maya, en la costa del Caribe, en las últimas décadas la zona ha experimentado un rápido cambio demográfico y económico debido al acelerado desarrollo turístico de la región. El ecoturismo en OMYK se ha

convertido en una de las principales actividades económicas de los hogares. En un principio la actividad ecoturística era incipiente y sólo un pequeño número de hogares estaba vinculado a esta actividad. Las principales atracciones turísticas eran la laguna y la observación de monos araña en su hábitat natural. Conforme la actividad fue creciendo y generando más ingresos y puestos de trabajo, la comunidad decidió crear la cooperativa de servicios turísticos *Najil Tucha* ("Casa de los monos" en maya yucateco), en donde participa un número importante de pobladores locales. A partir de la creación de la cooperativa, la toma de decisiones y la gestión del turismo han estado más repartidas entre las diferentes familias de la comunidad. En la actualidad, debido en parte al crecimiento del turismo en la región y a la existencia del ANP, gran parte de la dinámica económica y social de la comunidad gira en torno a esta actividad.

El contexto socioecológico de OMYK ha sido ampliamente descrito en la literatura. A lo largo de las últimas tres décadas, se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre aspectos que incluyen: ecología y comportamiento de los monos araña (Ramos-Fernández & Ayala-Orozco, 2003; Ramos-Fernández *et al.*, 2018), sucesión y restauración de selvas (Bonilla-Moheno, 2008; Bonilla-Moheno & Holl, 2010), sistemas locales de gestión de la naturaleza (García-Frapolli, 2006; García-Frapolli *et al.*, 2008; Ríos-Beltrán, 2016), análisis de cambio de la cobertura de vegetación y uso del suelo (García-Frapolli *et al.*, 2007; Rangel-Rivera, 2017), conservación (Aguilar Cordero *et al.*, 2012; Bonilla-Moheno & García-Frapolli, 2012; García-Frapolli, 2012; Rivera-Núñez, 2014), análisis de instituciones locales (Rivera-Núñez, 2014), turismo (Santana *et al.*, 2013; García-Frapolli *et al.*, 2013; Kurnick, 2019), y la integración de la información desde un enfoque socioecológico (García-Jácome *et al.*, 2020). En este capítulo sintetizamos los cambios más importantes que han ocurrido en el área, utilizando un enfoque socioecológico y un modelo dinámico computacional (García-Jácome *et al.*, 2020) para entender la resiliencia del sistema y explorar algunos escenarios futuros de cambio. Particularmente, nos enfocamos en dos aspectos distintos pero interrelacionados del socioecosistema: por un lado, las actividades socioeconómicas y las estrategias de uso de recursos por parte de las comunidades de la zona, y por otro, el cambio en la cobertura vegetal y el uso del suelo.

3. METODOLOGÍA Y TOMA DE DATOS

3.1 Mapas de cobertura vegetal y uso del suelo

Para determinar los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo, se comparó el mapa generado en 2003 con el del 2015 (García-Frapolli *et al.*, 2007; Rangel-Rivera, 2017). Para ambos mapas se utilizaron imágenes de satélite de alta resolución (SPOT con resolución de 5m para 2003 y Rapid Eye con resolución de 6.5 m para 2015). Mediante clasificación manual (mapa 2003) y clasificación supervisada bajo el método de máxima verosimilitud (software ENVI 4.7 y Arc Map 10.3, mapa 2015), y utilizando fuentes secundarias y verificaciones de campo, se establecieron clases de cobertura: 1) selva madura (vegetación leñosa > 50 años); 2) dos categorías de selvas secundarias en regeneración (vegetación leñosa de 16-29 años

y de 30-50 años); 3) selvas jóvenes en etapas tempranas de sucesión (vegetación leñosa < 15 años); 4) agricultura (milpa); 5) áreas urbanas (asentamientos humanos o caminos pavimentados); 6) cuerpos de agua (agua profunda y somera); y 7) vegetación inundable. Con ambos mapas se realizó el análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en el módulo Land Change Modeler (LCM; IDRISI Taiga), se generó la matriz de transición y se estimó la ganancia, pérdida, intercambio, cambio neto y cambio total para cada clase. Además, se mapeó la distribución espacial de los cambios más significativos (Rangel-Rivera, 2017).

3.2 Información socioeconómica

Debido a que la unidad primaria de apropiación de la naturaleza para los mayas yucatecos es el hogar, prácticamente toda la información de producción y el sistema de manejo de recursos naturales fue recabado a ese nivel, a través de entrevistas semi-estructuradas y observación participante. La información se recabó en dos periodos. Durante 2004 se realizaron 40 entrevistas en 20 de los 22 hogares que en ese momento conformaban la comunidad de Punta Laguna. De esas entrevistas, la mitad estuvieron dedicadas a actividades productivas (la mayoría realizadas a hombres) y la otra mitad se enfocaron en el manejo del huerto familiar (la mayoría realizadas a mujeres). Posteriormente, en 2015 se volvieron a realizar las mismas entrevistas semi-estructuradas. En este caso se llevaron a cabo 22 entrevistas en la comunidad de Punta Laguna, abarcando tanto las actividades productivas como los huertos. Muchos de estos hogares fueron los mismos que se habían entrevistado anteriormente (Ríos Beltrán, 2016).

3.3 Modelo dinámico

Con el fin de integrar los diferentes puntos de vista sobre el socioecosistema en un mismo marco, se desarrolló un modelo dinámico computacional que incorporó información sobre la cobertura vegetal, las actividades socioeconómicas, la población de monos araña y diferentes perturbaciones externas (García-Jácome *et al.*, 2020). En este modelo hacemos explícita la visión socioecosistémica mencionada arriba, al incorporar elementos del ecosistema, como la cobertura vegetal y los monos araña, y las interacciones de estos elementos con otros del sistema social, como las comunidades humanas que habitan el área (fig. 2). Este modelo combinó un enfoque basado en agentes con redes booleanas.

Los detalles metodológicos sobre la implementación del modelo se encuentran en García-Jácome *et al.* (2020). Los agentes incluyeron los hogares, los monos araña y los parches de vegetación de diferentes etapas de sucesión, así como la biomasa combustible que puede provocar incendios. Basándonos en la literatura sobre estudios en la zona (ver [Introducción](#)), establecimos reglas de comportamiento para cada agente. Por ejemplo, los hogares deciden hacer milpas dependiendo de la época del año, la distancia al hogar y la vegetación de un parche determinado. Los monos viven o mueren de acuerdo a modelos poblacionales logísticos y utilizan diferentes parches de vegetación de acuerdo con los estudios que reportan cómo

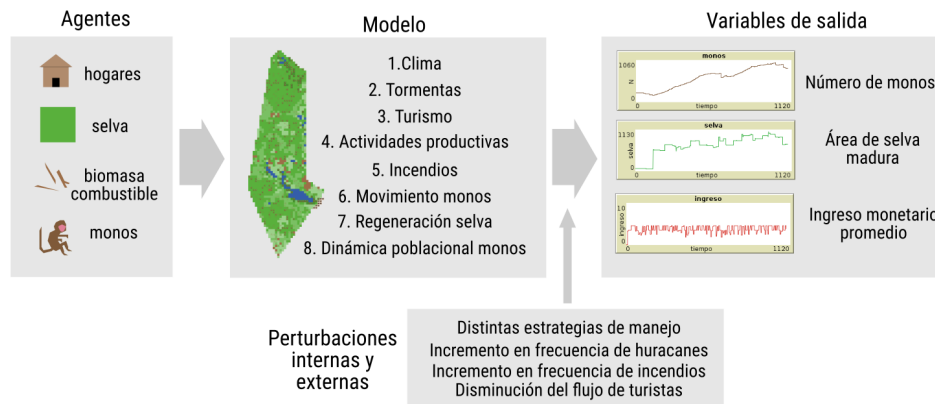


Figura 2: Esquema conceptual del modelo dinámico computacional, que muestra la integración de componentes ecosistémicos y sociales como agentes y procesos en el modelo, así como las perturbaciones internas y externas sobre cada tipo de componente y las variables de salida que se tomaron en cuenta para evaluar la resiliencia del socioecosistema.

lo hacen en la realidad. Los parches de vegetación cambian de acuerdo a los datos sobre sucesión vegetal, y pueden incendiarse dependiendo de la cantidad de biomasa combustible contenida (que a su vez depende de huracanes recientes).

Las redes booleanas se utilizaron para incorporar las múltiples relaciones entre diferentes componentes del socioecosistema, incluyendo factores externos como el clima, los huracanes y los incendios. En una red booleana se establecen relaciones de regulación positiva o negativa entre diferentes elementos, que pueden estar activos o inactivos. Dependiendo de la configuración de la red, pueden alcanzarse estados estables, como atractores fijos o cíclicos. En este caso, los elementos que componían la red booleana eran factores climáticos como la temperatura, presión y precipitación, así como actividades socioeconómicas como turismo, milpa, apicultura y producción de carbón, que están determinados claramente por diferentes estados de las variables climáticas. Un atractor cíclico en la red compuesta por estos elementos representa la dinámica anual en la que se realizan diferentes actividades dependiendo de la variación en el clima.

El modelo se calibró, se exploró la sensibilidad de sus diferentes parámetros, se hizo una prueba de validación y se utilizó para simular distintos escenarios de manejo. Estos escenarios incluyeron diferentes combinaciones de actividades productivas a nivel de los hogares donde preponderaba una lógica de autoconsumo (en la que predominan las actividades tradicionales), de mercado (incluidas aquellas orientadas a servicios) así como diferentes probabilidades de que ocurran huracanes o incendios, así como disminuciones drásticas en el número de turistas. Las variables de respuesta que se evaluaron fueron: el tamaño de la población de monos araña, la cobertura de selva madura y el ingreso promedio por hogar.

4. CAMBIOS DEL SOCIOECOSISTEMA

4.1 Cobertura vegetal

Hasta 2003, la mayor parte de la vegetación de OMYK se encontraba como vegetación secundaria en sucesión, mientras que el resto se encontraba dividida entre milpas activas (alrededor de 150 ha); aproximadamente 700 ha representaban selvas jóvenes menores de 15 años y algunos parches (< 500 ha) de selva madura (mayores de 50 años). Todo esto se ubicaba dentro de una matriz de casi 4000 ha de vegetación secundaria de entre 16 y 50 años (García-Frapolli *et al.*, 2007).

Entre el 2002 (cuando OMYK se decretó como ANP) y el 2015 todas las coberturas cambiaron y, sin embargo, la mayor proporción del área de la reserva permaneció estable (aproximadamente 57%). Las transiciones más representativas entre coberturas sucesionales y/o usos del suelo fueron la conversión del área agrícola a selvas jóvenes (menores a 15 años); de las selvas jóvenes a selvas secundarias (16-29 años); y entre selvas secundarias (de 16-29 años a 30-50 años) (tabla 1; Rangel-Rivera, 2017). La selva secundaria de 30-50 años fue la vegetación predominante durante ambos años; casi el 78% (2377.6 ha) de este tipo de cobertura en 2003 persistió en 2015. La selva madura mostró una pérdida de superficie del 30% (113.2 ha) y sólo 99 hectáreas permanecieron estables o sin cambios. En contraste, la selva joven experimentó el mayor incremento en el área (866.5 ha; 143%). La ganancia en selvas jóvenes, así como la pérdida de selvas secundarias y selva madura, se debió a dos incendios que ocurrieron en la parte norte de la reserva entre los años 2006 y 2011. Sin embargo, si se excluye esta región, el patrón es el inverso, siendo la más notable la transición de selva joven a selvas secundarias. Por otro lado, el área dedicada a actividades productivas (milpa y áreas urbanas) decreció, mientras que la selva joven aumentó debido, en buena parte, a la disminución de la superficie agrícola (Rangel-Rivera, 2017).

Tabla 1: Cambio en el área (ha) y porcentaje (%) de las coberturas dentro de OMYK, antes (2003) y después (2015) del decreto como ANP. Tabla modificada de Rangel-Rivera (2017).

COBERTURAS/USOS DE SUELO	2003	2015
Milpa	150.8 (2.8%)	2.1 (0.04%)
Selva joven (<15 años)	686.6 (12.8%)	983.6 (18.3%)
Selva secundaria (16-29 años)	1,007.8 (18.8%)	977.8 (18.2%)
Selva secundaria (30-50 años)	3,088.8 (57.5%)	3,050.4 (56.8%)
Selva madura (> 50 años)	212.3 (4.0%)	149.4 (2.8%)
Urbana	11.3 (0.2%)	5.2 (0.1%)
Cuerpos de agua	166.8 (3.1%)	190.5 (3.5%)
Vegetación inundable	45.3 (0.84%)	10.9 (0.20%)
Total	5,369.8	5,369.8

4.2 Sistema Socioeconómico

La estrategia de manejo de los recursos naturales cambió durante el periodo de estudio (tabla 2). En 2004, los hogares basaron su estrategia en una lógica de autoconsumo y un manejo tradicional de los recursos naturales, con la milpa como eje central de sus actividades y combinándola con otras actividades como la cacería y la recolección de leña. En ese momento, la mayoría de los hogares (91 %) realizaban dos o más actividades económicas como parte de su estrategia de manejo. En 2015, sólo el 9 % de los hogares tenía una estrategia con lógica de autoconsumo y basada en actividades tradicionales. El resto de los hogares optó por una estrategia con lógica de mercado, donde predominaban algunas actividades tradicionales y orientadas a los servicios, en la que las principales actividades económicas fueron el turismo y la asistencia a la investigación. Esto significa que la diversificación de las actividades productivas disminuyó drásticamente durante el periodo de estudio. En 2015, sólo el 36 % de los hogares realizaba dos o más actividades productivas.

Tabla 2: Estrategias de manejo (lógica de autoconsumo *vs.* mercado) y número de actividades implementadas por hogar en Punta Laguna, durante los años 2004 y 2015. Tabla modificada de Ríos Beltrán (2016).

	Año	
	2004	2015
Actividades productivas (% de hogares)		
Bajo lógica de autoconsumo	40	9
Milpa	77	55
Cacería	64	27
Recolección leña	95	95
Bajo lógica de mercado	60	91
Turismo	50	82
Apicultura	55	50
Asistente de campo	18	41
Trabajo fuera de la comunidad	41	23
Carbón vegetal	27	5
Número de actividades productivas		
2 o menos actividades	9	64
Más de 2 actividades	91	36

Como resultado del cambio en las estrategias de manejo, el conjunto de actividades productivas y el número de hogares que realizan cada actividad cambiaron desde el establecimiento de OMYK. Con excepción de la recolección de leña, que siguió siendo una actividad importante, se produjeron cambios relevantes en el porcentaje de hogares que realizaban todas las actividades. En Punta Laguna, el número de hogares que informaron de la implementación de la agricultura de mil-

pa disminuyó más del 20 %, mientras que el turismo aumentó más del 30 %, convirtiéndose en la segunda actividad más común en la actualidad. Es importante destacar que aunque los hogares en Punta Laguna continúan teniendo sus milpas a una distancia promedio de 2 km de su hogar, las parcelas fueron utilizadas por el doble del tiempo, de 3 a 6 años. Además, en promedio, las milpas disminuyeron su tamaño en un 50 %.

Los hogares de Punta Laguna informaron que el trabajo fuera de la comunidad es menos frecuente, mientras que ser asistente en las investigaciones de campo se hizo más común. La producción de carbón vegetal, una actividad común antes de que se decretara la reserva, mostró una reducción de más del 20 %. La cacería, que antes era una actividad muy importante, disminuyó significativamente, mientras que la apicultura (*Apis mellifera* y *Melipona beecheii*) sigue siendo una actividad común.

5. MODELO DINÁMICO

El modelo reprodujo relativamente bien los cambios de la selva sucesional observados de 2004 a 2015, sin embargo, dio valores ligeramente superiores a los observados en campo en 2015 para la selva madura y para la población de monos araña. A pesar de estas desviaciones, el modelo reprodujo el comportamiento cualitativo del SSE y como tal demostró ser una herramienta útil para mejorar nuestro entendimiento del sistema (García-Jácome *et al.*, 2020). Al simular distintos escenarios de manejo, los resultados mostraron que todas las estrategias de manejo permiten la regeneración de la selva y el crecimiento de la población de monos, sugiriendo que las actividades tradicionales, como la agricultura de tipo milpa, pueden ser compatibles con la conservación de la biodiversidad. Esto contrasta con la idea convencional que considera que la agricultura y la conservación son actividades excluyentes, idea que sigue permeando el diseño de muchos programas de manejo de reservas en México (García-Frapolli, 2012).

El ingreso promedio de los hogares dependió de la estrategia adoptada, siendo mayor en el caso de la estrategia de producción con lógica de mercado. Es importante enfatizar que las actividades orientadas únicamente a servicios produjeron un ingreso promedio por hogar mucho más variable que aquellas únicamente orientadas al autoconsumo. Esta variación se vuelve relevante cuando se considera el efecto de las perturbaciones externas. Por ejemplo, los huracanes son una perturbación externa a la que las dos variables ecológicas de respuesta resultaron ser altamente sensibles. Estas perturbaciones, a través de la acumulación de biomasa combustible en cada parche, daban lugar a incendios, algunos de extensión considerable, disminuyendo tanto el área de selva madura como la población de monos araña. Estas disminuciones, al afectar los principales atractivos turísticos de la reserva, y por lo tanto en la llegada de visitantes, provocaron una baja en el ingreso promedio de los hogares para las estrategias con lógica de mercado principalmente las orientadas a servicios, pero no para la estrategia de tipo tradicional. Aquellos hogares que combinan estrategias bajo la lógica de autoconsumo y de mercado, al

producir una variación menor en el ingreso promedio de los hogares, resultan ser más resistentes frente a cualquier perturbación, huracanes, incendios o caídas en el número de visitantes. Estos resultados nos sugieren que la diversificación económica, mediante la integración balanceada de actividades económicas tradicionales y alternativas, es un mecanismo que ayuda a aumentar la resiliencia de los hogares ante algunos disturbios como los huracanes y las caídas en el número de visitantes (tal y como se observó durante la pandemia de COVID-19).

El modelo dinámico computacional mostró la interrelación que existe entre variables ecológicas, como la superficie de selva madura y la población de una especie clave, como los monos araña, actividades socioeconómicas tradicionales como la milpa y otras no tradicionales como el turismo. Además, el modelo permitió explorar el papel de las perturbaciones externas naturales (como los huracanes) y sociales (como las caídas en el número de turistas) sobre estas variables ecológicas y el ingreso promedio de los hogares. El modelo dinámico computacional confirmó la idea de que la resiliencia del SSE depende crucialmente de la estrategia de usos múltiples, que permite un sustento menos variable con respecto al tiempo. El enfoque socioecosistémico permitió integrar el conocimiento sobre los diferentes componentes del sistema y entender cómo ha cambiado en el tiempo y podría seguir haciéndolo en el futuro.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo utilizamos un enfoque socioecosistémico, que hace explícita la estrecha relación entre un ecosistema y las comunidades humanas que lo habitan, para analizar la dinámica temporal de la cobertura vegetal y el uso de suelo, así como de la población de monos araña y las actividades socioeconómicas de los hogares de la zona. En este análisis colaboraron diversas disciplinas, desde la ecología vegetal y animal hasta la economía y la geografía, ya que es necesario un enfoque interdisciplinario para poder plantear las preguntas adecuadas y resolverlas mediante metodologías comunes.

Si bien la zona aún conserva gran parte de su biodiversidad, el proceso de cambio observado durante los últimos 20 años ha comprometido la cobertura vegetal y las actividades humanas realizadas. La vegetación en la parte centro y sur del área protegida se ha ido regenerando, aumentando el área de selva madura, lo cual a su vez es consistente con el ligero aumento en la tasa de encuentro de los monos araña. Sin embargo, en la parte norte del área protegida, la selva madura sufrió una disminución a causa de los incendios provocados, probablemente, por la producción de carbón. La especialización productiva, el vuelco de los hogares hacia los servicios turísticos como principal actividad económica y la producción de nuevos productos demandados por los centros turísticos de la zona, vuelven vulnerable al ecosistema, incluyendo la viabilidad a largo plazo de la población de monos araña.

Con la información analizada construimos un modelo computacional dinámico para explorar diferentes escenarios de cambio futuro. Dicho modelo permitió

demostrar que la especialización productiva, a costa del uso múltiple de recursos, que incluía actividades tradicionales como la milpa, puede volver a estas estrategias de uso más vulnerables y por lo tanto poner en peligro la resiliencia del socioecosistema.

REFERENCIAS

- Aguilar Cordero, W.J., Alonzo Parra, D.E., Canul Rosado, D. & Cerón Gómez, J. (2012). Percepción social sobre los beneficios de estar viviendo en un área natural protegida: Otoch Ma'ax Yetel Koooh. *Teoría y Praxis*, 12, 34–51.
- Barrera-Bassols, N. & Toledo, V.M. (2005). Ethnoecology of the Yucatec Maya: Symbolism, knowledge and management of natural resources. *Journal of Latin American Geography*, 4(1), 9–41.
- Berkes, F. & Folke, C. (1998). Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. In: F. Berkes & C. Folke (eds.), *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience* (pp. 1–25). Cambridge University Press.
- Bonilla-Moheno, M. (2008). *Forest recovery and management options in the Yucatan Peninsula, Mexico* [PhD Thesis, University of California, Santa Cruz].
- Bonilla-Moheno, M. & García-Frapolli, E. (2012). Conservation in context: a comparison of conservation perspectives in a Mexican protected area. *Sustainability*, 4(9), 2317–2333.
- Bonilla-Moheno, M. & Holl, K. (2010). Direct seeding to restore mature-forest species in areas of slash and burn agriculture. *Restoration Ecology*, 18, 438–445.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2006). *Programa de Conservación y Manejo-Área de Protección de Flora y Fauna Otoch Ma'ax Yetel Koooh*. México, D.F.: SEMARNAT.
- Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T. & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4). <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>
- García, R. (1994). Interdisciplinaria y sistemas complejos. En: E. Leff, R. García & P. Guzmán (eds.), *Ciencias sociales y formación ambiental*. Barcelona: Gedisa.
- García, R. (2006). *Sistemas Complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- García-Frapolli, E. (2006). *Conservation from below: socioecological systems in natural protected areas in the Yucatan peninsula, Mexico* [tesis de doctorado, Instituto de Ciencia y Tecnologías Ambientales, Doctorado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Barcelona].
- García-Frapolli, E. (2012). Exclusión en áreas naturales protegidas: una aproximación desde los planes de manejo. En: L. Durand, F. Figueroa y M. Guzmán (eds.), *La naturaleza en contexto: hacia una ecología política mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, El Colegio de San Luis, A.C.
- García-Frapolli, E., Ayala-Orozco, B., Bonilla-Moheno, M., Espadas-Manrique, C. & Ramos-Fernández, G. (2007). Biodiversity conservation, traditional agriculture and ecotourism: Land cover/land use change projections for a natural protected area in the northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 83, 137–153. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.03.007>

- García-Frapolli, E., Toledo, V. M. & Martínez-Alier, J. (2008). Adaptations of a Yucatec Maya multiple-use ecological management strategy to ecotourism. *Ecology and Society*, 13(2), 31.
- García-Frapolli, E., Ramos-Fernández, G., Galicia, E. & Serrano, A. (2009). The complex reality of biodiversity conservation through Natural Protected Area policy: Three cases from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land Use Policy*, 26(3), 715–722.
- García-Frapolli, E., Bonilla-Moheno, M. & Ramos-Fernández, G. (2013). Community conservation in Punta Laguna: a case of adaptive ecotourism management. In: L. Porter-Bolland, I. Ruiz-Mallén, C. Camacho-Benavides & S.R. McCandless (eds.), *Community Action for Conservation: Mexican Experiences* (pp. 101–113). Springer.
- García-Jácome, L.G., García-Frapolli, E., Bonilla-Moheno, M., Rangel-Rivera, C., Benítez, M. & Ramos-Fernández, G. (2020). Multiple Resource Use Strategies and Resilience of a Socio-ecosystem in a Natural Protected Area in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 522657. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.522657>
- Kurnick, S. (2019). Creating Nature in the Yucatan Peninsula: Social Inequality and the Production of Eco-Archaeological Parks. *American Anthropologist*, 121(2), 376–389.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325, 419–422.
- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. UNAM-FCE.
- Ramírez-Barajas, P. J., Torrescano-Valle, N., Tecpa-Jiménez, A. & Vázquez-Rodríguez, J. (2001). Importancia y uso del entorno natural en una comunidad indígena maya (Petcacab, Quintana Roo, México). *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 4, 61–71.
- Ramos-Fernández, G., Aureli, F., Schaffner, C.M. & Vick, L.G. (2018). Ecología, comportamiento y conservación de los monos araña (*Ateles geoffroyi*): 20 años de estudio en Punta Laguna, México. En: B. Urbani, M. Kowalewski, R.G. Teixeira da Cunha, S. de la Torre, L. Cortés-Ortiz (eds.), *La primatología en Latinoamérica*, tomo II (pp. 531–544). Caracas: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.
- Ramos-Fernández, G. & Ayala-Orozco, B. (2003). Population size and habitat use of spider monkeys at Punta Laguna, Mexico. In: L.K. Marsh (ed.), *Primates in Fragments: Ecology and Conservation* (pp. 191–210). New York: Kluwer Academic; Plenum Publishers.
- Rangel-Rivera, C.E. (2017). *Uso del hábitat del mono araña (Ateles geoffroyi) y cobertura vegetal en un Área Natural Protegida de la península de Yucatán, México* [tesis de maestría en ciencias, CIIDIR, Instituto Politécnico Nacional].
- Ríos Beltrán, F. (2016). *Análisis de los medios de vida sostenibles en el área de protección de flora y fauna Otoch Ma'ax Yetel Kooh* [tesis de licenciatura en ciencias ambientales, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Rivera-Núñez, T.A. (2014). *¿Conservacionismo biológico o agencia humana en el manejo ambiental? El caso del área de protección de flora y fauna Otoch Ma'ax Yetel Kooh* [tesis de maestría en ecología humana, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional-Unidad Mérida].
- Santana, R., Salvatierra Izaba, B., Parra Vázquez, M.R. & Arce Ibarra, A.M. (2013). Aporte económico del ecoturismo a las estrategias de vida de grupos domésticos de la península de Yucatán, México. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 11(1), 185–204.

- Tobón, W., Urquiza-Haas, T., Ramos-Fernández, G., Calixto-Pérez, E., Alarcón, J., Kolh, M. y Koleff, P. (2012). *Prioridades para la conservación de los primates en México*. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Asociación Mexicana de Primatología, A. C.-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Toledo, V.M., Ortiz-Espejel, B., Cortés, L., Moguel, P. & Ordoñez, M.D.J. (2003). The Multiple Use of Tropical Forests by Indigenous Peoples in Mexico: a Case of Adaptive Management. *Conservation Ecology*, 7(3), 9.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S.R. & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5.