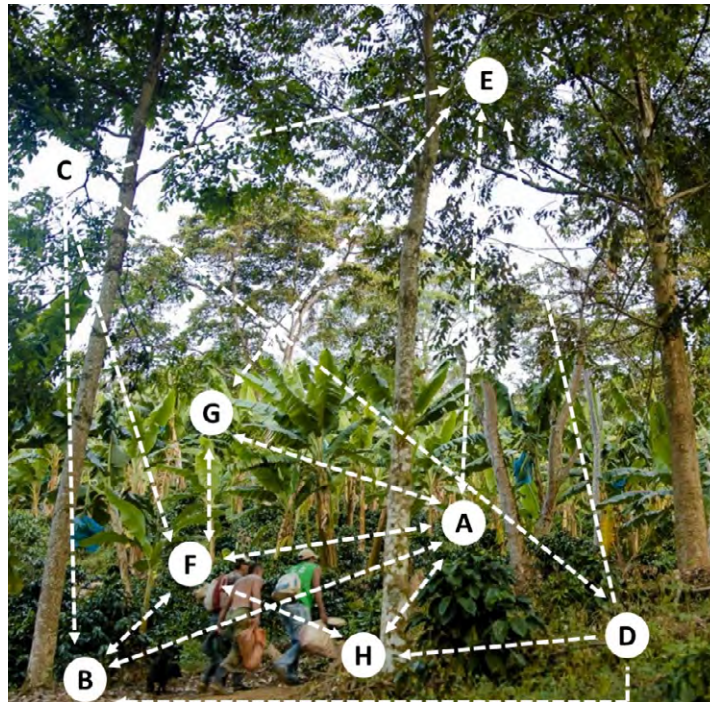


# EN LA PIEL DE LOS AGROECOSISTEMAS: EL ESTUDIO DE PROCESOS SOCIOECOLÓGICOS COMPLEJOS EN AGROECOLOGÍA

MARIANA BENÍTEZ (1), TLACAELEL RIVERA-NÚÑEZ (2) Y LUIS GARCÍA-BARRIOS (3)

(1) Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, UNAM. (2) Instituto de Ecología A.C., Red Ambiente y Sustentabilidad. (3) Luis García-Barrios, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Dirección Regional Sureste.

Los agroecosistemas (AES), como su nombre lo expresa, son sistemas ecológicos modificados continuamente para la producción de alimentos, así como de otros bienes y servicios. En las transformaciones que los humanos generamos hacia los ecosistemas con fines principalmente agroalimentarios intervienen no solo procesos técnicos de manejo, sino también aspectos económicos y culturales que modifican los flujos de materia y energía, así como las relaciones entre especies, dando paso a AES sumamente complejos (Figura 1). Esta complejidad se expresa, por ejemplo, en la respuesta poco predecible de los AES ante ciertos cambios o perturbaciones externas, o en la manera en que algunas de sus propiedades, como la biodiversidad, la resiliencia o la productividad son afectadas por las múltiples interacciones entre los componentes biológicos y físicos de los AES. A pesar de que existe consenso respecto a que los AES son la principal unidad de análisis y práctica de la agroecología, y que en éstos se entrelazan procesos que ocurren desde la escala microscópica hasta la del paisaje, aún suelen estudiarse poco desde miradas sistémicas o integrales como las de las ciencias de la complejidad (CC).



**FIGURA 1.** Interrelaciones en los componentes (A) biológicos, (B) del suelo, (C) climáticos, (D) de relieve, (E) ecológicos, (F) productivos (G) alimentarios y (H) económicos de un sistema campesino de producción de café bajo sombra en Chiapas.

Las CC irrumpieron diversas áreas del conocimiento a partir de 1950 buscando estudiar sistemas físico-químicos, biológicos y sociales cuyos comportamientos no son explicables a partir de la simple suma de sus partes, por mejor descritas que estén, sino que presentan comportamientos o formas de organización generadas espontáneamente a partir de la interacción entre sus partes que sólo pueden entenderse cuando se estudian como un conjunto. Los sistemas referidos suelen ser extremadamente sensibles a pequeñas intervenciones planeadas o no planeadas. Para buscar entender dichos sistemas y comportamientos inesperados, las CC han desarrollado todo un cuerpo matemático, computacional y razonamientos cualitativos que se traducen en teorías, ecuaciones y software para formalizar analíticamente los problemas bajo estudio y para buscar aplicaciones prácticas a sus hallazgos.

Hasta donde sabemos, el pionero en abordar el encuentro entre la teoría ecológica y las ciencias agrícolas desde un enfoque de CC fue el biólogo matemático R. Levins. Más recientemente los ecólogos J. Vandermeer e I. Perfecto (2017), a partir de su entendimiento de la agroecología como el encuentro entre las bases

conceptuales y experimentales de la ecología moderna, las observaciones de la historia natural fuera del equilibrio, los conocimientos prácticos y concretos de los campesinos, así como la acción política de los movimientos sociales, plantean siete grandes temáticas para abordar la complejidad ecológica de los AES (Cuadro 1).

**CUADRO 1.** Temáticas que comprenden el concepto de complejidad ecológica en el estudio de los AES desde las CC.

1. Autoorganización de arreglos espaciales: patrones de agrupación no azarosos en las especies biológicas que emergen de las limitaciones impuestas por el medio biofísico o de interacciones con otras especies y frecuentemente por una combinación de ambas. Su estudio es importante, por ejemplo, para considerar la forma en la que ciertos organismos se convierten en plagas.

2. Dinámicas caóticas: Comportamientos erráticos, aparentemente azarosos, que obligan a estar preparados para enfrentar cambios rápidos e impredecibles. Esto se ha visto por ejemplo en los cambios inesperados de precios de algunos productos, ante lo cual los campesinos deben adaptar y corregir continuamente los tiempos y formas de cultivo.

3. Procesos estocásticos: procesos cuyos comportamientos tienen incertidumbre, en la medida en que el estado siguiente del sistema se explica tanto por las acciones predecibles o causales del proceso como por elementos azarosos. Son importantes en el estudio de los AES por ejemplo para conocer las variaciones en el tamaño de poblaciones bajo relaciones ecológicas entre especies, en donde el comportamiento no puede ser explicado solamente por el tamaño de las poblaciones, sino también por la variabilidad al azar del medio biológico y físico que puede producir cambios permanentes.

4. Osciladores acoplados: sistemas integrados por al menos dos elementos que cuando acoplan sus procesos llegan a informarse mutuamente sobre sus comportamientos y se ajustan sintonizándose entre sí. En el estudio y manejo de los AES tienen grandes aplicaciones ya que éstos en sí mismos son conjuntos de osciladores acoplados, por ejemplo, en las conexiones alimentarias de sus especies.

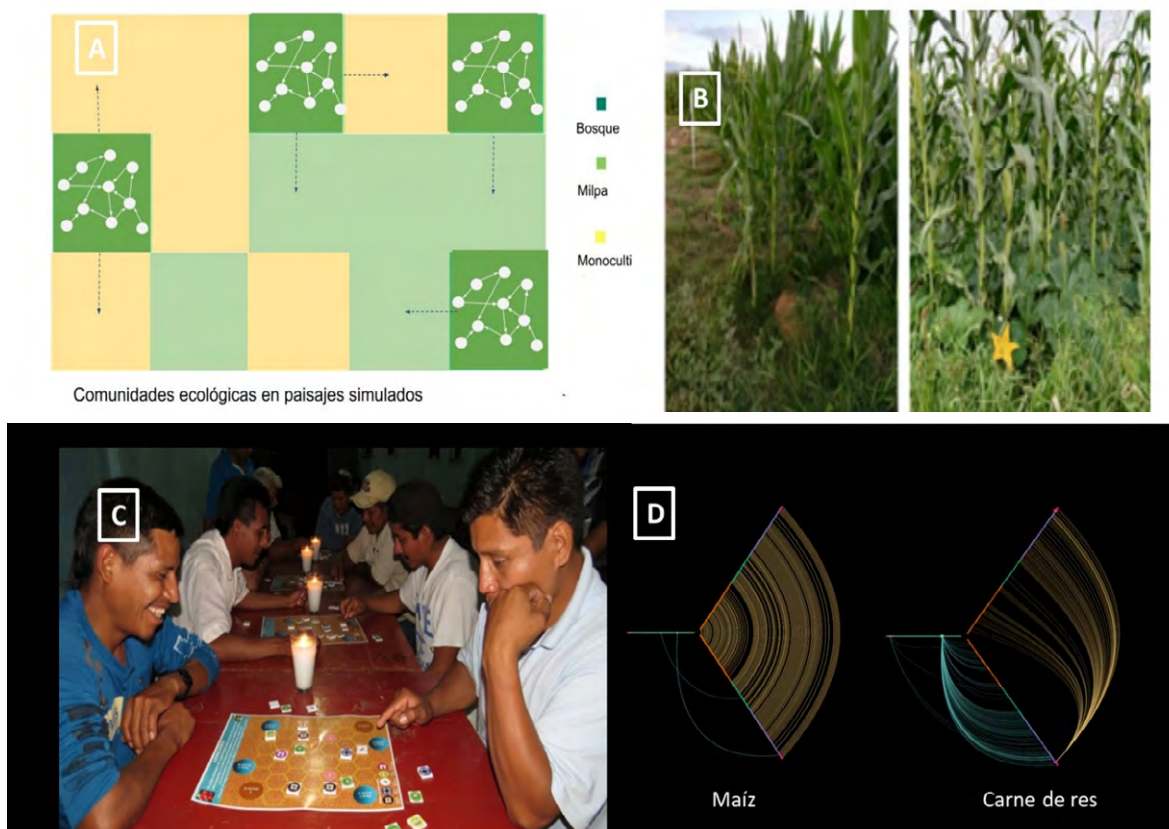
5. Multidimensionalidad: sistemas más allá de la uni- y bidimensionalidad, pero menores que la infinitud de niveles. Todos los agroecosistemas son multidimensionales en más de un sentido, desde el número de especies implicadas, hasta las actividades de manejo agrícola, pasando por las funciones ecológicas que están en interacción.

6. Interacciones indirectas-mediadas: responden al aforismo “el enemigo de mi enemigo es mi amigo” extrapolado a las interacciones ecológicas incluidas por el tamaño de las poblaciones o por algún otro rasgo superior dentro de la estructura y dinámica de un AES, con grandes aplicaciones, por ejemplo, para diseñar o estudiar sistemas de muchos cultivos.

7. Transiciones críticas: cambios bruscos e inesperados en el estado de los AES que tienen lugar cuando las condiciones del sistema superan un punto máximo de tolerancia. La recuperación de un agroecosistema a estos cambios generalmente requiere algo más que el simple retorno a las condiciones en las que se produjo la transición, un fenómeno llamado histéresis (dinámicas que responden a un retraso entre una causa externa y el efecto). Son muy útiles para estudiar cambios abruptos en los esquemas de producción (de industrial a agroecológico) o los diversos efectos que puede ocasionar la intensificación productiva de un AES.

En México, influidos por las contribuciones de los académicos arriba referidos, así como por el legado que para las CC en nuestro país han significado los aportes del físico G. Cocho y el sociólogo P. González-Casanova, un grupo de investigadores y estudiantes estamos intentando avanzar el estudio de los AES y tratando de incidir en las prácticas de manejo y el diseño de políticas públicas relacionadas con éstos. Además de retomar las bases teóricas de la complejidad ecológica y su modelación, hemos incorporado herramientas de evaluación de escenarios, problematización participativa y toma de decisiones multiactorales avanzados por otros enfoques de estudio, como las investigaciones socioecológicas (Benítez et al. 2021).

Así, hemos podido desarrollar modelos matemáticos y computacionales que permiten entender mejor qué características de los paisajes agrícolas facilitan la conservación de la biodiversidad. Estos modelos, a su vez, han guiado diversos trabajos de campo en los que documentamos y analizamos la relación entre la agricultura y la biodiversidad en sitios de enorme -y amenazada- riqueza biológica y cultural (Figura 2a y 2b). Por otro lado, también diseñamos e implementamos juegos de mesa serios, como el denominado “Ajedrez Azteca”, el cual ha demostrado ser una herramienta lúdica capaz de ayudar a los pequeños productores de café de sombra a ganar intuición sobre las complejas interacciones entre los insectos y hongos que viven en sus AES y a problematizar cómo estas especies pueden ayudar a lograr un control agroecológico de plagas, libre del uso de agrotóxicos (Figura 2c). A través del análisis y visualización de redes, un aporte central de las CC, igualmente hemos logramos comprender cómo se estructura y funciona estacionalmente el abasto rural de alimentos producidos en los AES campesinos (Figura 2d).



**FIGURA 2.** Abordajes de investigación empleados para comprender los procesos socioecológicos complejos de los AES e incidir en prácticas agroecológicas de manejo y esquemas agroalimentarios sostenibles. (A) modelos computacionales (B) estudios de la biodiversidad que alojan diferentes tipos de manejo agrícola (C) diseño e implementación de juegos de mesa serios (D) análisis y visualización de redes sociales

La metáfora de cierre que podríamos emplear para evaluar los avances en el estudio de los procesos socioecológicos complejos en los AES es la referencia que en su visita a México utilizó el ya referido R. Levins para ilustrar el estado del arte de los abordajes de las CC en medicina, misma en la que señaló que no obstante existen avances importantes en medicina donde los practicantes interrelacionan intestino, enzimas del hígado y transmisores del cerebro, éstos se detienen cuando llegan a la piel del cuerpo humano, esto es, al momento de incorporar los aspectos sociales causantes de gran parte de nuestros padecimientos físicos (Levins, 2015). En el encuentro entre agroecología y CC pasa lo mismo, aún existen pocos estudios que logren ir más allá de la piel de los AES para integrar, en los análisis y en la práctica, su enorme complejidad ecológica y social. No obstante, dada la urgencia por estudiar e impulsar formas de agricultura justas y sustentables, no podemos ignorar este reto que requiere de significativos esfuerzos colaborativos

entre las diferentes ciencias y, sobre todo, de la mano de las propias comunidades campesinas.

## REFERENCIAS

Benítez, M., Rivera-Núñez, T., García-Barrios, L. (Compiladores). 2021. Agroecología y Sistemas Complejos: Planteamientos epistémicos, casos de estudio y enfoques metodológicos. Coplt ArXives/SOCLA-México.

ISBN 978-1-938128-24-0 ebook

Levins, R. 2015. Una pierna adentro, una pierna afuera. Coplt ArXives.

ISBN: 978-1938128073

Vandermeer, J. H., Perfecto, I. 2017. Ecological complexity and agroecology.

Routledge. ISBN 9781138231962 (hardback)

## RESEÑA DE LA AUTORA Y LOS AUTORES



**Mariana Benítez** estudió Biología en la UNAM, la maestría en Dinámica No Lineal y Sistemas Complejos en la UACM y el doctorado en Ciencias Biomédicas de la UNAM. Desde el 2012 trabaja como investigadora titular en el Instituto de Ecología de la UNAM. Con su grupo trabaja en las áreas de Agroecología y Sistemas Agroalimentarios y de Ecología Evolutiva del Desarrollo. En ambas áreas ha adoptado enfoques teóricos y prácticos para tratar de entender los procesos

colectivos detrás de propiedades como la diversidad y la formación de patrones en diferentes escalas, desde la molecular y de los organismos, hasta la ecológica y socioambiental. Ha acompañado algunas iniciativas y esfuerzos de defensa de la tierra y el territorio en México, lo cual ha transformado los temas y formas de su investigación.

Contacto: [mbenitez@iecologia.unam.mx](mailto:mbenitez@iecologia.unam.mx)



**Tlacaélel Rivera-Núñez** es ecólogo, maestro en ecología humana y doctor en agroecología y sociedad. Investigador en la Red Ambiente y Sustentabilidad del Instituto de Ecología A.C. Intereses de investigación en agroecología, sistemas agroalimentarios, economía campesina, ciencias de la complejidad, antropología ecológica, ecología política y ecología histórica. Una década de experiencia estudiando y acompañando procesos en comunidades campesinas, indígenas y pesqueras en el sur-sureste y el noroeste de México.

Ha ocupado puestos directivos y de coordinación en dependencias de los tres órdenes de gobierno relacionados a tesituras socioambientales.

Contacto: [aaron.rivera@inecol.mx](mailto:aaron.rivera@inecol.mx)



**Luis García-Barrios** es Biólogo, maestro y doctor en ecología. Investigador en el Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente de El Colegio de la Frontera Sur, donde ha laborado desde 1985. Profesor invitado en las universidades de Michigan y Wageningen. Actualmente Director Regional Sureste en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. En sus estudios combina la ecología vegetal, agronomía, modelación matemática, programación y simulación, ciencias de la complejidad, economía política,

sociología rural y pedagogía crítica. Sus líneas de investigación se centran en la experimentación agroecológica en campo, la evaluación y el diseño de sistemas de cultivo mixto, agroforestales y silvopastoriles, el análisis y síntesis de la complejidad y sostenibilidad de procesos agrícolas y rurales a varias escalas, así como el diseño y uso educativo de juegos socioecológicos de mesa y computadora con diferentes actores para el aprendizaje social y la gestión de territorios campesinos.

Contacto: [luis.garciabarrios@gmail.com](mailto:luis.garciabarrios@gmail.com)