



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**EVOLUCIÓN**

**EL SUELO COMO CONSTRUCCIÓN BIOSOCIAL: UNA MIRADA DESDE LAS ONTOLOGÍAS**

**PROCESUALES**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**ALAIDE MARINA ARCE GONZÁLEZ**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. LEV ORLANDO JARDÓN BARBOLLA**  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DRA. EDNA MARÍA SUÁREZ DÍAZ**  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

**DRA. MARIANA BENÍTEZ KEINRAD**  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**EVOLUCIÓN**

**EL SUELO COMO CONSTRUCCIÓN BIOSOCIAL: UNA MIRADA DESDE LAS ONTOLOGÍAS**

**PROCESUALES**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**ALAIDE MARINA ARCE GONZÁLEZ**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. LEV ORLANDO JARDÓN BARBOLLA**  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DRA. EDNA MARÍA SUÁREZ DÍAZ**  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

**DRA. MARIANA BENÍTEZ KEINRAD**  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

AGOSTO 2023

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
OFICIO FCIE/DAIP/296/2023  
ASUNTO: Oficio de Jurado

**M. en C. Ivonne Ramírez Wence**  
**Directora General de Administración Escolar, UNAM**  
**Presente**

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **27 de febrero de 2023** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Biología Evolutiva** de la estudiante **ARCE GONZÁLEZ ALAIDE MARINA** con número de cuenta **304502859** con la tesis titulada **“El suelo como construcción biosocial: una mirada desde las ontologías procesuales”**, realizada bajo la dirección del **DR. LEV ORLANDO JARDÓN BARBOLLA**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: **DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ**  
Vocal: **DR. JOHN LARSEN**  
Vocal: **DR. DIEGO CARLOS MÉNDEZ GRANADOS**  
Vocal: **DRA. YUNUEN TAPIA TORRES**  
Secretario: **DRA. EDNA MARÍA SUÁREZ DÍAZ**

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**  
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 24 de mayo de 2023

**COORDINADOR DEL PROGRAMA**



**DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA**



# Agradecimientos Institucionales

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por su apoyo durante el desarrollo y culminación de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar los estudios de maestría.

A los miembros del Comité Tutor:

Dr. Lev Orlando Jardón Barbolla

Dra. Edna María Suárez Díaz

Dra. Mariana Benítez Keinrad

por todos los comentarios realizados para el mejoramiento de esta tesis, así como por su apoyo, confianza e interés en el mi.

## Agradecimientos A Título Personal

A Anayansi y Aldo porque fueron lo mejor de la maestría.

A Lev por ayudarme a crecer y apoyar mis elecciones en mis proyectos académicos.

A Musimilian Kazaiko por ser el mejor esposo del mundo.

Y a mis papás por todo, siempre.

# Índice

Resumen .....	1
Abstract .....	2
Introducción.....	3
¿Por qué hablar de los suelos agrícolas?.....	3
Objetivos.....	6
Antecedentes.....	7
Panorámica de las ontologías procesuales .....	7
El suelo como construcción .....	13
El carácter biosocial de la construcción del suelo .....	15
El reduccionismo ontológico y el estudio de la relación naturaleza-sociedad.....	17
Metodología.....	20
Resultados y Discusión .....	21
Aportes de las ontologías procesuales al problema del suelo .....	21
1. John Dupré: ¿El suelo es cosa o proceso? .....	21
2. Tim Ingold: Devenir biosocial del suelo .....	31
3. Levins y Lewontin: Biología dialéctica del suelo .....	36
El suelo como construcción biosocial.....	48
La semilla y la mercancía: La relación del humano con la naturaleza se ve ahora mediada por el capital .....	51
Metabolismo naturaleza-sociedad y la construcción biosocial del suelo.....	58
Organismos vivos del suelo.....	64
Construcción biosocial del suelo en el capitalismo-colonialismo .....	71
Hacia una ontología procesual del suelo.....	75
El suelo más allá del consumo.....	79
Salidas procesuales a la crisis ambiental vista desde el suelo .....	90
Conclusiones.....	96
Referencias bibliográficas .....	102

# Resumen

El presente trabajo busca explorar la formación y transformaciones del suelo a través del andamiaje teórico que proporcionan tres propuestas dentro de la biología y la filosofía de la biología. Recorro como marco teórico a la ontología de procesual de John Dupré, a la propuesta de devenires biosociales de Tim Ingold y a la biología dialéctica de Richard Levins y Richard Lewontin para estudiar el suelo y los procesos que lo han formado y determinado históricamente y en la actualidad. Sostengo que estas tres propuestas representan ontologías procesuales por el hecho de que las tres insisten en que los seres vivos no están en ningún momento terminados ni estáticos, sino que estamos en constante cambio y de hecho dependemos de la actividad para seguir existiendo, así como de las diferentes interacciones que llevamos a cabo como parte de dicha actividad de vida, y que continuamente nos transforman. El estudio de las características del suelo, su formación en los ciclos biogeoquímicos y en la interacción de procesos bióticos y abióticos, así como naturales y sociales. Su naturaleza dinámica y relacional me lleva a sostener que el suelo se comprende mejor desde una ontología de procesos. Ver el suelo como proceso nos permite comprender más profundamente las relaciones que lo constituyen en el tiempo. El suelo tiene características que lo hacen más afín a un análisis desde una ontología de procesos que desde la ontología de objetos. Mirar el suelo desde una perspectiva procesual nos permite reconocer sin obstáculos la integración de los diferentes niveles de organización. Lo biológico y lo social abarcan de manera general niveles de organización diferentes, como los genes y las rutas metabólicas por un lado y la división social del trabajo, la cultura y el conocimiento por otro.

# Abstract

The present work seeks to explore the formation and transformations of soil through the theoretical scaffolding provided by three proposals within the biology and philosophy of biology. I use as a theoretical framework the processual ontology of John Dupré, the proposal of biosocial becomings of Tim Ingold and the dialectical biology of Richard Levins and Richard Lewontin to study the soil and the processes that have formed and determined it historically and today. I argue that these three proposals represent processual ontologies by the fact that all three insist that living beings are not at any time finished or static, but that we are constantly changing and in fact depend on activity to continue to exist, as well as on the different interactions we carry out as part of said life activity. and that continually transform us. The study of soil characteristics, its formation in biogeochemical cycles and in the interaction of biotic and abiotic processes as well as natural and social. Its dynamic and relational nature leads me to argue that soil is best understood from an ontology of processes. Seeing soil as a process allows us to understand more deeply the relationships that constitute it over time. The soil has characteristics that make it more akin to an analysis from an ontology of processes than from the ontology of objects. Looking at the soil from a processual perspective allows us to recognize without obstacles the integration of the different levels of organization. The biological and the social generally encompass different levels of organization, such as genes and metabolic pathways on the one hand and the social division of labor, culture, and knowledge on the other.

# Introducción

## ¿Por qué hablar de los suelos agrícolas?

En el presente trabajo me centraré en los suelos agrícolas, aunque muchos de los planteamientos atañen al suelo en general. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) señala que la degradación de suelos es una amenaza importante para la seguridad alimentaria en el futuro. “Existe una creciente conciencia de que el suelo necesita ser tratado y manejado como un recurso no renovable escaso y frágil, incluidos los componentes que componen el suelo” (Bindraban, et al., 2012). Dos posibles formas de definir la degradación del suelo son: “los procesos que reducen la capacidad de la tierra para proveer bienes y servicios ecosistémicos” (FAO, 2022) o “los procesos, principalmente inducidos por el hombre, por los cuales el suelo disminuye en calidad y, por lo tanto, se hace menos apto para un propósito específico, como la producción de cultivos” (Bindraban, et al., 2012). La FAO identifica como principales factores de degradación de suelo: la erosión, la pérdida de carbono orgánico, el desequilibrio de nutrientes, la acidificación, la contaminación, la inundación, la compactación, la salinización y la pérdida de biodiversidad del suelo (FAO, 2022). También señala que la degradación de suelos es un problema que está interconectado con el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Sostiene que el manejo sostenible de suelos es fundamental para enfrentar estos problemas. Esto está relacionado con el hecho de que el carbón orgánico del suelo es el reservorio terrestre más grande de carbono. La capa superior de 30 cm de profundidad contiene aproximadamente 694 millones de toneladas de carbono (FAO, 2022).

De acuerdo con la FAO (2022), en el 2015 la extensión de suelo degradado por causas humanas a nivel global era de 1660 millones de hectáreas, de las cuales 850 millones estaban fuertemente degradadas. De acuerdo con la SEMARNAT (2018), alrededor del 33% de los suelos del mundo presentan un nivel de degradación de moderada a severa. En México 63% de los suelos presenta algún nivel de degradación, de los cuales el 24.21% es ligera, el 27.2% es moderada el 10.01% es severa y el 1.59% es extrema.

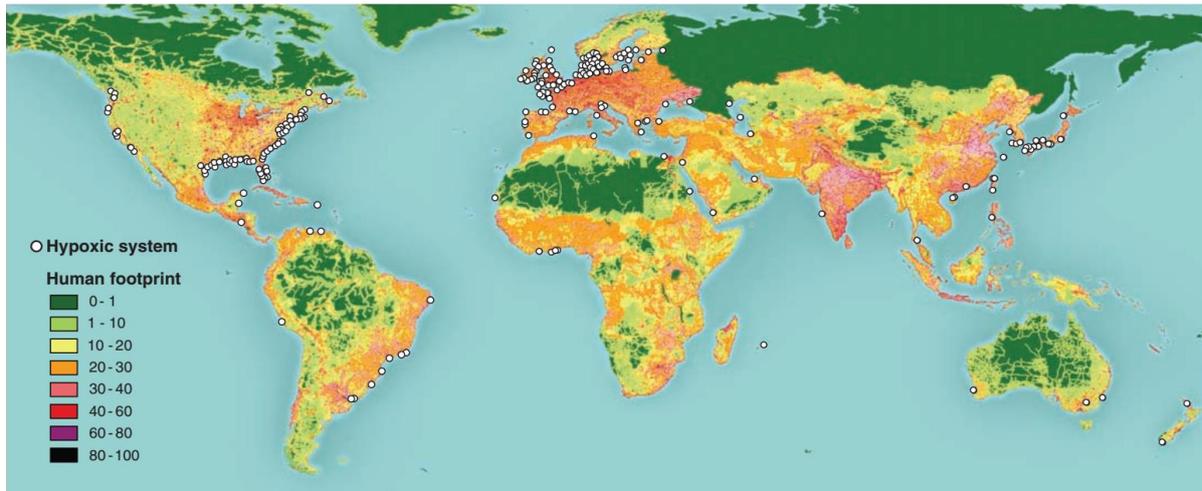


Figura 1: Distribución de zonas muertas en el mundo (Díaz y Rosemberg, 2008).

Rockstörn y colaboradores (2009) afirman que se convierten anualmente “mediante procesos humanos” alrededor de 120 millones de toneladas de  $N_2$  atmosférico a formas reactivas. De los cuales la mayor parte se debe a la manufactura industrial de fertilizantes y la producción de leguminosas. De acuerdo a Drinkwater y colaboradores (2017), la agroindustria fija de manera industrial 100 millones de toneladas de  $N_2$  atmosférico para producir fertilizantes sintéticos. Mientras que las leguminosas fijan biológicamente 33 millones de toneladas en agroecosistemas. Esto es más de cuatro veces la cantidad que Rockstorm y colaboradores proponen como un “límite seguro” para el desarrollo sostenible de la humanidad. Ellos consideran que esta conversión de nitrógeno atmosférico a formas solubles representa una válvula que regula la entrada del nitrógeno a otros ecosistemas. El nitrógeno en forma soluble se pierde muy fácilmente del suelo por lixiviación y en los ríos, lagos y mares favorece el crecimiento de algas en la superficie, un proceso conocido como eutrofización. Como consecuencia de esto se generan zonas anóxicas en el agua. Un ejemplo se encuentra en el Golfo de México donde hay una región conocida como zona muerta por las condiciones anóxicas que se han producido. Las formas solubles de nitrógeno y fósforo se lixivian de las granjas a lo largo del río Misisipi, el cual las transporta hasta el golfo (Magdoff & Van Es, 2009; Rabalais et al., 2008). Aunque la del golfo de México es la segunda más grande (Rabalais, et al. 2008), existen más de 400 zonas muertas en el mundo (*fig 1*; Díaz y Rosemberg, 2008). También fluye a la atmósfera como óxido nitroso, un gas con 300 veces mayor impacto en el efecto invernadero que el  $CO_2$  (Magdoff & Van Es, 2009). Toda esta situación puede poner a todo el sistema planetario en condiciones de mayor vulnerabilidad ante

la crisis ambiental global (Rockström et al., 2009).

Entre el año 1961 y 2002 el uso de fertilizantes de nitrógeno aumentó 7.4 veces y de fósforo 2.3 veces (FAO, 2022). Esto aumentó momentáneamente la producción, sin embargo, lejos de atenuar el problema de degradación de los suelos, lo profundizó (Bindraban, et al., 2012). Actualmente se considera que la degradación de suelos es una de las principales limitantes para la producción agropecuaria. Uno de los problemas asociados a esto es que los cultivos sólo aprovechan alrededor de la mitad del nitrógeno agregado en forma de fertilizante mineral (Drinkwater, et al., 2017). La otra mitad va a parar a cuerpos de agua como acuíferos, lagos y mares o a la atmósfera. Es decir, estas formas químicas de los nutrientes no aportan a la construcción de fertilidad en los suelos. Los nutrientes no se retienen. Paralelamente, la sustitución de enmiendas orgánicas que se han utilizado tradicionalmente para fertilizar el suelo, con fertilizantes minerales afecta negativamente otras propiedades del suelo como la biodiversidad y la actividad biológica, así como propiedades físicas como la agregación y estructura que tienen consecuencias también negativas en propiedades como la captación de agua y la vulnerabilidad a la erosión.

Ante esta problemática, el presente trabajo busca encontrar una manera de orientar nuestras acciones para que sus resultados sean más acordes con los fines que queremos. Consideramos que esto requiere una comprensión más cabal y profunda del mundo biológico que nos rodea y constituye. La biología como momento cognoscitivo necesario en la práctica humana de transformar el mundo. De tal manera que dicha transformación sea propicia para la vida humana y no destructora de la vida. El objetivo del presente trabajo es reunir los elementos necesarios para analizar el suelo como una construcción biosocial. La importancia de generar una visión integral como esta es superar las dicotomías y limitaciones que un ontología de objetos impone sobre la generación de un marco para manejar el suelo de una manera más sostenible y equitativa.

# Objetivos

**Objetivo general:** Reunir elementos teóricos desde la agroecología y filosofía de la biología que permitan comprender si la dicotomía naturaleza/sociedad resulta insuficiente para comprender los suelos, enfatizando el análisis de los suelos agrícolas.

Objetivos específicos:

1. Analizar si las ontologías procesual de Dupré, relacional de Ingold y aquella derivada de la biología dialéctica de Levins y Lewontin, aportan elementos para comprender de mejor manera la naturaleza de los suelos, especialmente agrícolas.
2. Explorar el concepto de metabolismo sociedad-naturaleza retomado de Marx por el ecosocialismo de John Bellamy Foster y colaboradores. Explorar su relación con las ontologías procesuales y dialécticas. Expandir el concepto del suelo para incluir las relaciones sociales que también lo conforman.

Explicar qué limitaciones se logran superar al pensar el suelo en términos de construcción biosocial.

# Antecedentes

*Physiologists who suppose themselves to be above metaphysics are only a very little above it  
— being up to the neck in it*

*— Joseph Henry Woodger (1929, Biological Principles)*

## Panorámica de las ontologías procesuales

Una ontología procesual sostiene que aquello que existe es fundamentalmente dinámico. El cambio es algo constitutivo, primordial y no accesorio. La filosofía procesual ha sido principalmente ontológica. La ontología es la rama de la filosofía que se pregunta ¿cómo es lo que es? Para esta postura, lo que es es procesual. Vista de manera más amplia, como paradigma de investigación filosófica, pueden reconocerse así como ontologías procesuales, epistemologías procesuales, éticas, teoría de la mente y otras áreas (Seibt, 2022).

Las filosofías procesuales no están unificadas bajo una sola escuela, corriente, programa, ni siquiera en una misma noción de lo que significa proceso. Lo que tienen en común es que se oponen a la concepción de que lo que hay en el mundo son objetos o sustancias. Consideran que el mundo puede describirse y comprenderse mejor si se observa en términos de procesos.

El sentido en el que se utiliza aquí el término “proceso” es coloquial. La RAE define “proceso” como “3. m. Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial”. Joahanna Seibt (2022) se refiere a los procesos como secuencias de estadios que están estructurados temporalmente.

La filosofía, por lo menos la occidental, ha tenido históricamente un sesgo hacia la ontología de sustancias. De hecho, se trata más bien de una historia de metafísica de sustancia en la que hay “intercalados (...) focos de pensamiento procesual” (Seibt, 2022). Las sustancias son estáticas: son lo que son en cualquier instante del tiempo. Dentro de la ontología de objetos o sustancias, estas son lo fundamental y lo que constituye primordialmente el mundo. Y desde esta postura, el cambio siempre le ocurre a un objeto o sustancia. Estas son en sí mismas duraderas, y permanecen en su estado hasta que algo externo las perturbe (Dupré y Nicholson,

2018). Además, sus bordes son sólidos y los objetos son autónomos. No dependen para existir, ni para seguir siendo lo que son de sus relaciones (Dupré y Nicholson, 2018). Como el cambio siempre le ocurre a un objeto, desde esta ontología, los procesos siempre requieren la existencia previa de las cosas (Dupré y Nicholson, 2018). Es decir, la cosa es ontológicamente anterior al proceso.

Esta tradición filosófica tiene sus raíces desde la antigüedad, con filósofos griegos como los atomistas Leucippus y Demócrito, o Parménides quien afirmaba que todo cambio es una ilusión. Aristóteles también sostenía una ontología de sustancias, las cuales pertenecían a diferentes tipos de acuerdo a sus esencias. Estas determinaban los límites de cambio que podía atravesar una sustancia (Dupré y Nicholson, 2018). La visión de estos filósofos clásicos sirvió de base para la ontología de la ciencia moderna. El atomismo de Boyle y Newton entre otros, revivía estos átomos eternos, indivisibles y con propiedades intrínsecas permanentes de la Grecia clásica (Dupré y Nicholson, 2018). Y revivieron también esta idea de que la permanencia es más real y fundamental que el cambio, ya que los cambios observados en nuestro nivel macroscópico sólo eran el efecto del movimiento a nivel microscópico de dichos átomos (Dupré y Nicholson, 2018). Dichos movimientos e interacciones no implicaban cambios en los átomos mismos, estos permanecían inalterados. Siempre eran los mismos. Es por esto que Dupré afirma que “Un átomo es una cosa o una sustancia, si algo lo es” (Dupré y Nicholson, 2018).

Como hemos dicho, las ontologías procesuales se oponen a esta descripción sustancialista del mundo. Sostienen que una ontología de procesos puede dar mejores descripciones filosóficas. Y que “las suposiciones básicas del paradigma de sustancias son presuposiciones teóricas dispensables y no leyes del pensamiento” (Seibt, 2022). Además, sostienen que existen fenómenos que sólo se pueden abordar desde una perspectiva de procesos. Por otro lado, y de manera relevante para el presente trabajo, señalan (Seibt, 2022) que una ontología procesual puede ser de mucha utilidad para la superación positiva o deconstrucción de dicotomías tradicionales. Por ejemplo, aquella entre la mente y el mundo físico. En este caso, propongo utilizarla también para explorar la dicotomía entre naturaleza y sociedad.

Entre los ejemplos de filósofos procesuales a Martin Heidegger, Gilles Deleuze, Alain Badiou y Georg Hegel, William James, John Dewey y Alfred Whitehead (Seibt, 2022). Este último sostuvo que la biología necesitaba generar su propia epistemología ya que hasta el momento en que él realizó sus escritos (*Science and the Modern World*, 1925; *Process and*

*Reality*, 1929), había dependido de la de la física. De acuerdo con él, la física clásica había mantenido hasta el tiempo de Whitehead, una visión de la naturaleza mecanicista, reduccionista y determinista que no era compatible con la biología. Sostenía que en particular en la biología son sobresalientes características como el desarrollo, la organización y la interdependencia que están en contraposición con la epistemología de la física clásica (Dupré y Nicholson, 2018). Whitehead también influenció e inspiró a un colectivo de biólogos en la primera mitad del siglo XX, conocidos como los organicistas (Conrad Waddington, Joseph Henry Woodger, John Scott Haldane). Ellos fueron pioneros en la filosofía de la biología y sostenían una ontología procesual para esta (Dupré y Nicholson, 2018).

Salir del problema reduccionista es difícil para quienes observan el mundo desde una ontología de substancias, sin embargo, no representa un problema desde la ontología de procesos (Dupré y Nicholson, 2018). El problema reduccionista es el siguiente. Desde una ontología de sustancias, en cada nivel de organización hay objetos estáticos con propiedades ya dadas que a partir de sus interacciones construyen el siguiente nivel (Dupré y Nicholson, 2018). Como cada nivel está constituido por partes y sus relaciones, es difícil imaginar qué más puede entrar en ese siguiente nivel que no esté ya presente en el nivel de más abajo. “¿Qué podría ser un todo, más allá del conjunto de constituyentes que lo componen y las relaciones físicas entre ellos?” (Dupré y Nicholson, 2018). Por esto, las afirmaciones que cuestionan el reduccionismo, como por ejemplo la de que existen propiedades emergentes pueden parecer fantasiosas o misteriosas (Kim, 2006). Sin embargo, los biólogos hemos observado empíricamente precisamente esto desde hace tiempo (Dupré y Nicholson, 2018; Noble, 2012; Waddington, 1940; 1942; 1961; 1975). Las propiedades de las partes están parcialmente determinadas por el todo. Por ejemplo, en la biología del desarrollo, durante las últimas décadas ha llegado a ser claro que el organismo no se encuentra especificado en los genes antes del proceso de desarrollo, sino que en cada etapa el organismo como un todo organiza las señales ambientales, hormonales, genéticas y otras, que tienen efecto causal sobre el desarrollo subsecuente (Gilbert y Epel, 2009; Oyama, 2000; Oyama, et al., 2001; Sultan, 2015; 2017). En los estudios fisiológicos se observa que el estado del organismo completo afecta el estado de sus partes. Por ejemplo, el estrés que vive una persona cotidianamente tiene efectos sobre la regulación de la glucosa y puede favorecer la aparición o agravamiento de la diabetes tipo II (Surwit et al., 1992). O de manera más simple aún, un mamífero que escucha el sonido de una serpiente de cascabel integra la señal de forma que hay una activación generalizada del sistema nervioso simpático que a su vez causa que el corazón (la parte) se acelere. Encontramos otro ejemplo en el área de la fisiología: el mantenimiento del ritmo cardiaco depende de la causalidad descendente entre el potencial de

acción en el marcapasos del corazón (a nivel de organización celular) y los canales iónicos (nivel molecular) (Noble, 2012). En el campo de la biología de la conducta, es el contexto ecológico en el que la rana percibe la presencia de un depredador, lo que desencadena una cascada de señalización que causa que las proteínas musculares actina y miosina se deslicen una sobre la otra contrayendo el músculo para saltar (Rose, 1998).

Para una ontología de sustancias, es difícil concebir lógicamente otro tipo de causalidad que no transcurra “de abajo hacia arriba”, es decir, de los niveles de organización más básicos hacia los más complejos (causalidad ascendente). El argumento es que si conocemos todos los elementos que componen un cierto nivel de organización y su forma de interactuar, ya conocemos los siguientes niveles (Dupré y Nicholson, 2018; Kim, 2006). Por ejemplo, en el caso de la célula. Podemos saber que se compone de un citosol, membrana, organelos y demás. Conociendo las propiedades de cada uno de estos elementos y su forma de interactuar, conocemos la célula, puesto que ¿de dónde más van a salir características y propiedades sino es de sus componentes más básicos y las interacciones entre ellos? Por consiguiente, al especificar estos componentes y la forma en que interactúan, automáticamente quedaría especificado el siguiente nivel (Kim, 2006).

En cambio, en la ontología de procesos este problema desaparece porque no se piensa a las entidades en cada nivel de organización como estáticas y previamente especificadas. Más bien son procesos dinámicos que se mantienen a través de relaciones y de actividad. La gran diferencia radica en que las partes no se encuentran ya dadas, fijas y quietas, sino que requieren actividad e intercambio para el sólo hecho de seguir existiendo (Dupré y Nicholson, 2018). Por esto los procesos son inherentemente relacionales. Dichas relaciones y actividades toman lugar a niveles de organización tanto superiores como inferiores. Por esto una ontología de procesos no tiene ningún problema con la “causalidad descendente” (downward causation). Las influencias causales pueden lógicamente fluir en ambas direcciones (Dupré y Nicholson, 2018). Las entidades en que se basa la ontología de sustancias, los objetos, requieren límites bien definidos. Por el contrario, los procesos no. Esta es una de las razones por las cuales Dupré (Barnes & Dupré, 2008; Dupré, 1993, 2014; Dupré y Nicholson, 2018) sugiere que es mejor concebir a los organismos como procesos más que como objetos. Ya que sabemos que la simbiosis y la interdependencia ecológica son la norma en el mundo biológico. Entre estas interdependencias una muy notable es el microbioma presente en todos los macroorganismos y que en muchos casos está ligado íntimamente en procesos fisiológicos, inmunológicos y del desarrollo (Dupré, 2014). Los procesos no podemos existir aislados de nuestras relaciones

con otros procesos a escalas mayores y menores de tiempo y niveles de organización superiores e inferiores. Sin embargo, el reduccionismo necesita poder ver a las partes de manera aislada y acontextual. Al reconocer el mundo biológico como procesual, es decir radical e ineludiblemente relacional, se comprende inmediatamente la limitación explicativa del reduccionismo.

En el presente trabajo consideramos que una característica fundamental de las ontologías procesuales es que reconocen que las entidades no están terminadas antes de entrar en relaciones. Las relaciones no son externas a lo que fundamentalmente son las entidades. Por el contrario, las entidades se forman y transforman en relaciones. En consecuencia, el mundo siempre está deviniendo y nunca está terminado (Ingold, 2007, 2011; Ingold & Gísli Pálsson, 2013; Lewontin & Levins, 2007; Dupré y Nicholson, 2018). En el caso de Dupré y Nicholson esto es claro cuando señala que una de las razones por la que los organismos no pueden considerarse como objetos es que los objetos tienen límites bien definidos y son autónomos. Mientras que los organismos nos encontramos en interdependencia ecológica.

Las comunidades ecológicas (...) no son colecciones de cosas relativamente autónomas, sino mallas profundamente enredadas de procesos interdependientes. Este enredo puede volver extremadamente difícil establecer de manera inequívoca los límites del individuo biológico, o siquiera determinar de cuántos individuos se trata en una situación particular. Es por esto que las relaciones ecológicas se entienden mejor como un entrelazado de procesos. El ámbito biológico nos presenta un espectro continuo de grados de entrelazamiento (Dupré y Nicholson, 2018, p. 21).

Además del trabajo de Dupré, tomamos como referencia otros dos proyectos que consideramos dentro de las ontologías procesuales. Se trata de la propuesta de *Devenires biosociales* (*Biosocial becomings*) del antropólogo Tim Ingold y la biología dialéctica de los biólogos Richard Levins y Richard Lewontin.

Tim Ingold sostiene que la vida no es un atributo de los organismos sino de su relacionalidad (Ingold, 2011). En otras palabras “la vida no está en los organismos, sino los organismos en la vida” (Ingold, 2004), y esta consiste en el tejido de relaciones dentro del cual y a partir del cual los organismos y otros procesos necesarios para la vida se generan y regeneran continuamente. Dicho campo de relaciones tiene la cualidad de ser dinámico y estar continuamente transformando a los componentes bióticos y abióticos

que nos encontramos en él. Ingold critica el hecho de que se suele concebir al organismo como un ente delimitado por un borde que lo separa del ambiente creando un adentro y un afuera. De esta manera las relaciones dentro y a través de las cuales el organismo vive, se constituye y se transforma pasan a concebirse como un diseño interno. Los organismos, en lugar de abiertos al mundo, se conciben como cerrados, sellados por un límite que protege su constitución interna del tráfico externo. Él propone representar a los organismos como una madeja de líneas que emanan de un centro. En esta representación no hay un adentro y un afuera. Es decir, el organismo no queda adentro, y el entorno afuera, y no es posible pintar una línea que rodee y delimite al organismo.

Pero ¿Qué pasa con el ambiente? Literalmente, por supuesto, el ambiente es aquello que rodea al organismo. Pero no puedes rodear un manojo sin dibujar un límite que lo encierre (...) convirtiendo aquellas relaciones mediante las cuales un ser vive su vida en el mundo en propiedades internas de las cuales su vida no es más que una expresión externa. Podemos suponer, sin embargo, que las líneas de crecimiento que salen de múltiples fuentes se enredan extensamente unas con otras (...). Lo que estamos acostumbrados a llamar ‘ambiente’ puede, entonces, imaginarse mejor como un dominio de enredo (Ingold, 2011, p. 71).

Vale la pena señalar que en ambas citas (la de Dupré y Nicholson y la de Ingold) estos autores refieren un “entrelazado de procesos”, y un “dominio de enredo” como el entorno o matriz ecológica de los organismos. En la cual en lugar de haber independencia, autonomía y límites bien definidos existe esta madeja de relaciones dentro de la cual los organismos somos transformados y transformamos a la vez.

Levins y Lewontin fueron dos biólogos que realizaron su quehacer científico dentro del marco teórico de la dialéctica marxista. Tanto Dupré como Seibt señalan a Hegel como uno de los filósofos procesuales continentales. La dialéctica de Marx es heredera de Hegel (Rees, 1998), pero partiendo de una posición materialista. Consideramos que la dialéctica marxista puede ser entendida como una ontología procesual (Ollman, 1998) ya que ve el mundo a partir del movimiento y las relaciones. Se trata al mismo tiempo de una ontología y un método (Ollman, 1998). Una ontología que se centra en los procesos y un método adecuado para estudiar este mundo procesual. De hecho, Engels criticaba al mecanicismo por separar el mundo en objetos estáticos. La dialéctica da prioridad a los procesos que constituyen las cosas antes que a las cosas (Royle, 2018). De acuerdo con Bertell Ollman, la dialéctica es “una forma de pensar acerca de las relaciones y los procesos en el mundo, un método para

estudiarlos” (Ollman citado por Royle, 2018). Como metodología se enfoca en el cambio y el movimiento, es decir, lo toma como algo central para la comprensión del fenómeno en lugar de algo secundario que le ocurre a los objetos que en sí mismos se encuentran estáticos. Tanto la ontología procesual de Dupré y la dialéctica consideran que la estabilidad requiere de una explicación, al contrario del pensamiento newtoniano en el que es fundamentalmente el cambio el que requiere de una explicación.

## El suelo como construcción

En este trabajo retomamos la propuesta de Susan Oyama en la noción de “construcción”. Oyama es una de las académicas que propusieron la Teoría de Sistemas en Desarrollo (DST) (Oyama et al., 2001). Ella se ha referido a su postura teórica como “interaccionismo constructivista” (constructivist interactionism) (Oyama, 2000). En oposición a la visión evolutiva estándar (ver Gupta et al., 2017; Laland et al., 2014), Oyama sostiene que la forma de los organismos vivos no preexiste en los genes, sino que *se construye* momento a momento durante la ontogenia. “las formas biológicas (...) se ven como resultado de una construcción interactiva, no como manifestaciones de un plan preexistente” (Oyama, 2000). La visión del desarrollo y de la evolución dominante durante la mayor parte del siglo XX fue la del programa genético, según la cual existe un programa interno que dirige el desarrollo de los organismos (Sultan, 2017). De acuerdo con esta visión, los genes contienen información que codifica para el fenotipo, y el desarrollo consiste solamente en realizar esas instrucciones, una suerte de “desdoblamiento” del genotipo (Lewontin, 2000). El genotipo se veía como un objeto autocontenido en el sentido de que para especificar el fenotipo no necesitaba nada externo. De esta manera, se pensaba que conociendo toda la secuencia genética de un organismo podía predecirse la morfología, fisiología, desarrollo, comportamiento y demás aspectos fenotípicos del organismo, de cierta forma se “conocía” al organismo. De acuerdo con esta visión, la forma ya está contenida en el genotipo de un organismo previo a su existencia y a su ontogenia. Por el contrario, Oyama ve el desarrollo como construcción, en la cual participan procesos de diferentes índoles y procedencias, como factores ambientales, celulares, hormonales entre otros. En esta matriz de relaciones se genera, en cada ciclo, la información relevante para dar forma al organismo. De acuerdo con la DST, el desarrollo, la herencia y la evolución se entienden mejor si en lugar de plasmarla en términos de transmisión (de caracteres o representaciones de los caracteres), se piensa en términos de construcción. Los caracteres se construyen y reconstruyen nuevamente en cada ciclo de vida

a partir de recursos del desarrollo que se encuentran contingente pero consistentemente presentes. Estos recursos incluyen, pero no se reducen a los genes, y estos no tienen una mayor importancia que los demás.

En esta tesis, sostengo que de manera análoga se puede decir que las características del suelo agrícola no preceden de manera inamovible su existencia en las múltiples relaciones que lo transforman. En el caso del suelo, una postura determinista equivalente a la de que hay por ejemplo una naturaleza humana que está en los genes, sería la idea de que el suelo es ahistórico, o bien solamente histórico en un sentido geomorfológico, con características ya dadas por naturaleza e independientes de la acción humana. Esta era la postura que sostenían algunos autores como David Ricardo y Thomas Malthus, quienes se referían a la fertilidad del suelo como sus “poderes originales e indestructibles”. Sin embargo, otros autores como James Anderson (*A Calm Investigation of the Circumstances that have Led to the Present Scarcity of Grain in Britain*), Justus Von Liebig (*Organic Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology*) y Karl Marx (*El capital*) sostuvieron que el suelo tiene una naturaleza histórica en la cual la fertilidad se puede construir o destruir de acuerdo con prácticas sociales. Es en estos términos que retomamos el concepto de “construcción” para referirnos a la construcción biosocial del suelo (Burkett, 2014; Foster, 2000; Magdoff & Van Es, 2009; Saitō, 2017). Sostenemos que en la relación de los diferentes factores biológicos y sociales que entran en juego se construyen diferentes suelos, algunos pueden ser fértiles y favorables para el cultivo y otros son suelos compactos, erosionados y degradados.

La Teoría de Sistemas en Desarrollo refleja también una ontología procesual (Griffiths, Stotz, 2018) en tanto se centra en el ciclo de vida. Su foco está en la construcción del organismo en el proceso del desarrollo. Rechaza la idea de que el organismo está contenido en un objeto llamado genotipo previamente a que inicie dicho proceso de vida.

Lo que hace que DST sea una teoría de procesos es que busca explicar el desenlace del desarrollo como el resultado de un proceso dinámico en el que algunos de los factores que interactúan son productos de etapas anteriores del proceso, en lugar de como resultado de la disposición de factores preexistentes en un mecanismo estático. Incluso cuando los factores existen independientemente del proceso de desarrollo, son introducidos en él y se convierten en parte de un "sistema" de desarrollo por el devenir de dicho proceso de desarrollo (Griffiths, Stotz, 2018).

## El carácter biosocial de la construcción del suelo

Como se mencionó anteriormente, la visión de Ingold es profundamente relacional. Él concibe la vida como un entramado de relaciones dentro del cual los organismos devenimos y estamos en continua transformación. Este devenir de un organismo condiciona el de otros y a la vez es condicionado por el de los otros. En *Biosocial becomings* Ingold refiere que el “social” de “biosocial” apunta a esta naturaleza relacional del devenir de todos los organismos

“Que la vida se despliega como un tapiz de relaciones mutuamente condicionantes puede resumirse en una sola palabra, social. Toda la vida, en este sentido, es social. Sin embargo, toda la vida también es biológica, en el sentido de que implica procesos de crecimiento orgánico y descomposición, metabolismo y respiración (...). De ello se deduce que cada trayectoria del devenir surge dentro de un campo que es intrínsecamente social y biológico, o en resumen, biosocial” (Ingold, 2013; p 9).

Ingold señala que el término no es óptimo porque da la idea de complementariedad en lugar de que se trata de un mismo proceso. Pero lo utiliza a falta de uno mejor. En este trabajo utilizamos el término biosocial de esta forma, pero también refiriéndonos de manera más amplia a la propuesta de Ingold en torno a la relación biológico/social o biológico/cultural a lo largo de su trabajo. Tanto la DST como la propuesta de Ingold buscan deconstruir o superar las dicotomías que son persistentes en diversos campos de conocimiento como la biología, la psicología, la sociología y la antropología. Dicotomías como biológico/cultural, naturaleza/crianza, innato/adquirido, genético/ambiental. Ingold sostiene que existe una “dicotomía maestra que sustenta todo el edificio del pensamiento y la ciencia occidentales, a saber, aquella que existe entre los ‘dos mundos’ de la humanidad y la naturaleza” (Ingold, 2001).

El carácter procesual del enfoque de Ingold lo centra en los procesos ontogénicos de los organismos, es decir el crecimiento, movimiento y transformación que llevan a cabo los organismos a través del tiempo. No trata con objetos que se transmiten de una generación a otra como la información en el DNA o como conocimiento en estructuras mentales. En lugar de ello, trata con la construcción de los organismos y el redescubrimiento del mundo, todo ello en relación. “Es precisamente porque la dinámica del desarrollo se encuentra en el corazón de [este] enfoque que es capaz de prescindir de la dicotomía biológico/social” (Ingold, 2001).

Ingold sostiene que la división entre “lo biológico” y “lo cultural” viene de pensar en “lo biológico” como lo innato. Esto es la consecuencia de una visión de la evolución en la cual la forma y vida de los organismos ya está codificada en los genes previamente a la existencia del organismo (Ingold, 2004). El problema radica en la confusión de “biológico” con “genético”. Desde una perspectiva del desarrollo, que mira el proceso de devenir en relación, es posible entender cómo tanto fenómenos que se adjudican a “lo social”, como a lo “biológico” participan en la construcción del organismo al constituir sus condiciones de desarrollo. Ingold suele ilustrar este punto con un ejemplo (Ingold, 2001; 2004). Dice que él es capaz de caminar y tocar el chelo.

“La locomoción bípeda generalmente se considera un atributo de la especie *Homo sapiens*, una parte integral de nuestra naturaleza humana producto de la evolución. Por el contrario, tocar el chelo es sin duda una habilidad cultural con un contexto muy específico en la tradición musical europea” (Ingold, 2004).

Sin embargo, en realidad, las dos habilidades son el resultado de procesos del desarrollo. Las dos llegaron a formar parte de él de la misma forma, a través de la práctica con objetos concretos y con los adultos en su entorno. No existe una manera natural de caminar. Diferentes culturas en diferentes lugares del mundo desarrollaron diferentes formas de caminar acordes con las características del terreno y sus particulares prácticas.

Si, como he sugerido, esas formas específicas de actuar, percibir y saber que estamos acostumbrados a llamar culturales se incorporan, en el curso del desarrollo ontogenético, a la neurología, la musculatura y la anatomía del organismo humano, entonces son igualmente hechos de la biología. Las diferencias culturales, en resumen, son biológicas (Ingold, 2001).

En el presente trabajo retomamos el término “biosocial” para nombrar este entrettejido relacional y procesual de factores, influencias y condiciones que provienen de lo que conocemos como “biológico” (actividad metabólica, fisiológica y de construcción de nicho de los organismos, redes tróficas, ciclos biogeoquímicos), con lo que conocemos como “social” (manejo agrícola, sistema económico, relaciones de producción, historia). Recogemos la propuesta de Ingold y las mencionadas anteriormente para analizar estos procesos, pero ahora en el suelo.

## El reduccionismo ontológico y el estudio de la relación naturaleza-sociedad

Antes de entrar en materia quisiéramos revisar una última cuestión que ha marcado la forma en que se articula la conceptualización teórica de la relación naturaleza-sociedad. La ontología reduccionista se basa en objetos que ya están terminados y posteriormente pueden entrar en interacción, pero esas interacciones no los cambian fundamentalmente (Dawkins, 2006; Gupta et al., 2017; Kim, 2006; ver la sección “All is well” de Laland et al., 2014). En el caso de la visión del programa genético los organismos están especificados ya en el genotipo antes de siquiera empezar su desarrollo. Y sus interacciones ontogénicas con el ambiente no tienen efecto sobre la información genética que se hereda, es decir, no los cambian fundamentalmente de acuerdo con esta visión. Es por esto por lo que la ontología reduccionista se basa en objetos o sustancias. Da prioridad a los niveles más básicos de organización, en donde construye objetos de cuyas características se derivan las características y efectos que se observan a niveles superiores.

El reduccionismo sostiene que la parte tiene primacía ontológica sobre el todo. De acuerdo con la postura reduccionista la explicación de los fenómenos se encuentra en las unidades mínimas, recurriendo a los niveles de organización cada vez más básicos.

“(…) la visión de que los fenómenos más complejos son, de hecho, las consecuencias de la determinación generada por procesos a niveles “más bajos”; es decir, las propiedades de las sociedades están determinadas por las propiedades de los individuos, cuyas propiedades están, a su vez, determinadas por interacción entre sus genes y un ambiente autónomo, mientras que las propiedades de los genes están determinadas por las propiedades del DNA y así hasta los quarks.” (Levins y Lewontin, 2007).

Es decir, para esta postura la determinación de los fenómenos siempre está en los niveles más bajos de organización (Kim, 2006). Como se mencionó anteriormente, desde esta ontología es problemático pensar en una causalidad descendente, que vaya del todo a la parte. Por ello la flecha causal siempre iría en una dirección: de lo biológico a lo social. Así, la organización social y económica estaría determinada en última instancia por los genes (Barkow et al., 1992; Cosmides y Tooby, 1994; Dawkins, 2006). Las ontologías y propuestas teóricas que hemos revisado en esta sección permiten articular la relación de procesos biológicos y procesos sociales de otra forma.

Desde un punto de vista dialéctico se busca enfatizar tanto la autonomía como la interdependencia de los niveles de organización (Levins y Lewontin, 2007). La autonomía en cuanto a que cada nivel tiene sus propias dinámicas. “Cada nivel de organización del universo tiene sus propios significados, que desaparecen a niveles más bajos” (Rose, 1998). La interdependencia en cuanto que cada nivel condiciona y es condicionado por los otros. En un modelo de regulación del azúcar en el organismo comúnmente se utilizan variables fisiológicas: glucosa en sangre, insulina, adrenalina, etc. Pero hay otros factores que pertenecen a otros dominios del conocimiento que también están involucrados. Algunos pertenecen al dominio de la psicología y de las ciencias sociales como la ansiedad, el miedo, los horarios de trabajo, el racismo, la clase social, marginación, el acceso a comida de calidad, la violencia, el machismo, entre otros. Estar expuesto a racismo genera ansiedad que eleva la adrenalina y con ello el azúcar en sangre. Pertenecer a una clase social que conlleva vivir en zonas marginadas donde hay violencia implica la posibilidad de recibir un balazo al caminar por la calle, lo cual eleva el miedo o la ansiedad que a su vez eleva la adrenalina. Tener un trabajo con horarios que no permiten el acceso a comida o descanso de calidad también tiene un efecto sobre las variables fisiológicas. Levins y Lewontin sostienen que nuestra fisiología es una fisiología socializada.

“El racismo se convierte en un factor ambiental que afecta las glándulas adrenales y otros órganos de maneras en las que los tigres y las serpientes venenosas lo hacían en épocas históricas anteriores. Las condiciones bajo las que la fuerza de trabajo se vende en el mercado laboral capitalista actúan sobre el ciclo de la glucosa del individuo al estar los tiempos de actividad y descanso más en función de las decisiones económicas del empleador, que de la autopercepción de los flujos metabólicos del trabajador. La ecología humana no es la relación de nuestra especie en general con el resto de la naturaleza, sino la de las diferentes sociedades, géneros, edades, grados, y etnicidades que mantienen las estructuras sociales. Entonces no es descabellado hablar del páncreas bajo el capitalismo o del pulmón proletario” (Levins y Lewontin, 2007).

Así, a veces algunas características biológicas tienen su determinación en el nivel social de organización. El pertenecer a una clase social o grupo étnico marginado puede obligar a una persona a vivir o trabajar en un ambiente que tiene efectos nocivos en el cuerpo. Levin y Lewontin señalan que, en Estados Unidos, “la mejor manera de encontrar un incinerador o tiradero de desechos tóxicos es buscar un barrio afroamericano” (Levins y Lewontin, 2007). Esto se debe a que los precios del terreno son más baratos y las leyes más laxas en esas zonas.

Al estar expuestos a las sustancias tóxicas estas personas probablemente desarrollen cierto tipo de cáncer u otra enfermedad particular, mientras que personas blancas que no están expuestas al mismo ambiente, no.

Frente a lo anterior, la ciencia reduccionista, buscando las explicaciones en el nivel de organización más básico, respondería que se debe a una característica genética de su grupo étnico. Sin embargo, la explicación a ese fenómeno no se encuentra en ese nivel de organización. El cáncer es generalmente identificado como un proceso biológico, sin embargo, la determinación, en este caso, se encuentra en el nivel social. Otro ejemplo es el alto índice de alcoholismo entre los habitantes pertenecientes a pueblos originarios en Estados Unidos y Canadá (Maté, 2009). La ciencia reduccionista responde que se debe a que sus genes los hacen más propensos a ello, ignorando la destrucción que sufrieron de su cultura y su medio de subsistencia que era el territorio. Lo biológico y lo social se encuentran interpenetrados. Aspectos biológicos como la vía metabólica que lleva el pigmento melanina a la piel, trae consecuencias sociales que nada tienen que ver con la función biológica de esta vía, y esas estructuras y condiciones sociales desencadenan a su vez procesos biológicos como la enfermedad.

En nuestro caso de estudio, una ontología reduccionista nos obligaría a ver la flecha causal únicamente de lo geofísico a lo biológico y de ahí a lo social. De ahí se derivaría una postura como la que sostuvieron Ricardo y Malthus, que las características de fertilidad del suelo ya están dadas por “la naturaleza” y que situaciones sociales como la renta se derivan inmutablemente de ella. Las propuestas teóricas de las que abrevaremos en este trabajo nos permiten mirar la relación naturaleza-sociedad de otra forma. De una forma procesual, relacional y dialéctica que no reduce la segunda a la primera (ni viceversa).

# Metodología

La metodología utilizada consistió en comparar las propuestas de John Dupré, Tim Ingold y Levins y Lewontin en el eje ontológico, centrando la atención en la concepción del mundo que comparten todos ellos de que lo que hay no son objetos separados con límites bien definidos, sino que lo que hay llega a ser lo que es a través de sus relaciones y las entidades nunca llegar a estar terminadas. Cada una de las tres propuestas en cuestión fue utilizada para reforzar diferentes aspectos que se buscó analizar del suelo. Dupré, las características necesarias para considerar que algo puede ser considerado ontológicamente procesual. Ingold, la forma en que el devenir niega la dicotomía entre biológico y social. Y Levins y Lewontin para problematizar que lo social no es social en abstracto, sino una forma específica de organización social.

Posteriormente se aplicó este marco de referencia a el objeto de estudio que es el suelo agrícola, para detectar si es realmente mejor comprendido bajo una ontología procesual, sus características procesuales específicas y la forma en la que lo biológico y lo social se encuentran interpenetrados en él. Así como la forma particular de organización social que lo co-construye. Para esto último abrevamos de la propuesta ecosocialista de Foster y colaboradores, buscando una síntesis entre las ontologías procesuales y esta crítica ecosocialista del capitalismo aplicada al suelo. Finalmente se busco esbozar un camino hacia tecnologías del suelo sustentadas en una ontología procesual.

# Resultados y Discusión

## Aportes de las ontologías procesuales al problema del suelo

### 1. John Dupré: ¿El suelo es cosa o proceso?

De acuerdo con John Dupré el mundo biológico puede comprenderse mejor desde una ontología procesual que desde una de objetos (Barnes & Dupré, 2008; Dupré, 1993, 2014, 2019; Dupré y Nicholson, 2018). Esto significa que aquello de lo que está hecho fundamentalmente es de procesos. Las características que él señala y que me parecen más significativas en este sentido son que el mundo vivo es:

- **Dinámico:** Está constantemente en cambio, sus elementos son diacrónicos con diferentes partes temporales. La razón por la que parece compuesto de objetos es que los procesos presentan una estabilidad dinámica, las “entidades” son abstracciones o patrones de estabilidad transitoria de los procesos, y necesitan de la actividad para continuar existiendo.
- **Los procesos se presentan en una jerarquía:** Procesos a diferentes escalas temporales contenidos unos en otros y que proporcionan condiciones de posibilidad para procesos en niveles de organización más altos y más bajos. Estas dependencias están basadas en la actividad, no son sólo estructurales
- **No tiene límites definidos**
- **Hay interdependencia ecológica:** Entre los organismos hay relaciones íntimas, incluso pueden penetrar los límites espaciales asociados a la individualización del organismo, como en la endosimbiosis. Dependen unos de otros para mantenerse con vida, de la acción e interacción de muchísimos organismos de diferentes reinos y también de procesos no vivos. Los organismos no son externos a sus relaciones, sino que sus relaciones definen lo que son, no hay una “esencia” que radique dentro de sus límites

Sostengo que el suelo también se entiende mejor desde una ontología de procesos que de objetos, ya que también tiene estas características. Es dinámico, con procesos diacrónicos que

tienen partes temporales. El suelo es un ecosistema y como tal, es un constante flujo de materia y energía. Hay recambio metabólico y celular de los micro y macro organismos que forman parte de los ciclos biogeoquímicos. En estos ciclos, los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y en general para el funcionamiento del ecosistema, se mueven y se reciclan al pasar a través de los cuerpos y procesos metabólicos de microbios, organismos macroscópicos y estados abióticos.

Los nutrientes más relevantes son el nitrógeno y el fósforo, los cuales gran parte del tiempo se encuentran unidos a cadenas de carbono en procesos biológicos, por lo cual su movimiento y su destino en los sistemas naturales y agrícolas están unidos a los del carbono (Drinkwater et al., 2017). El nitrógeno puede entrar al suelo por fijación biológica, sin embargo, este es un proceso que requiere mucha energía debido al triple enlace de la molécula de nitrógeno atmosférico, por lo que la mayor parte del nitrógeno del suelo viene de la descomposición y reintegración de materia orgánica. Aunque en sistemas agrícolas también se añade nitrógeno en forma mineral que se fijó de manera industrial.

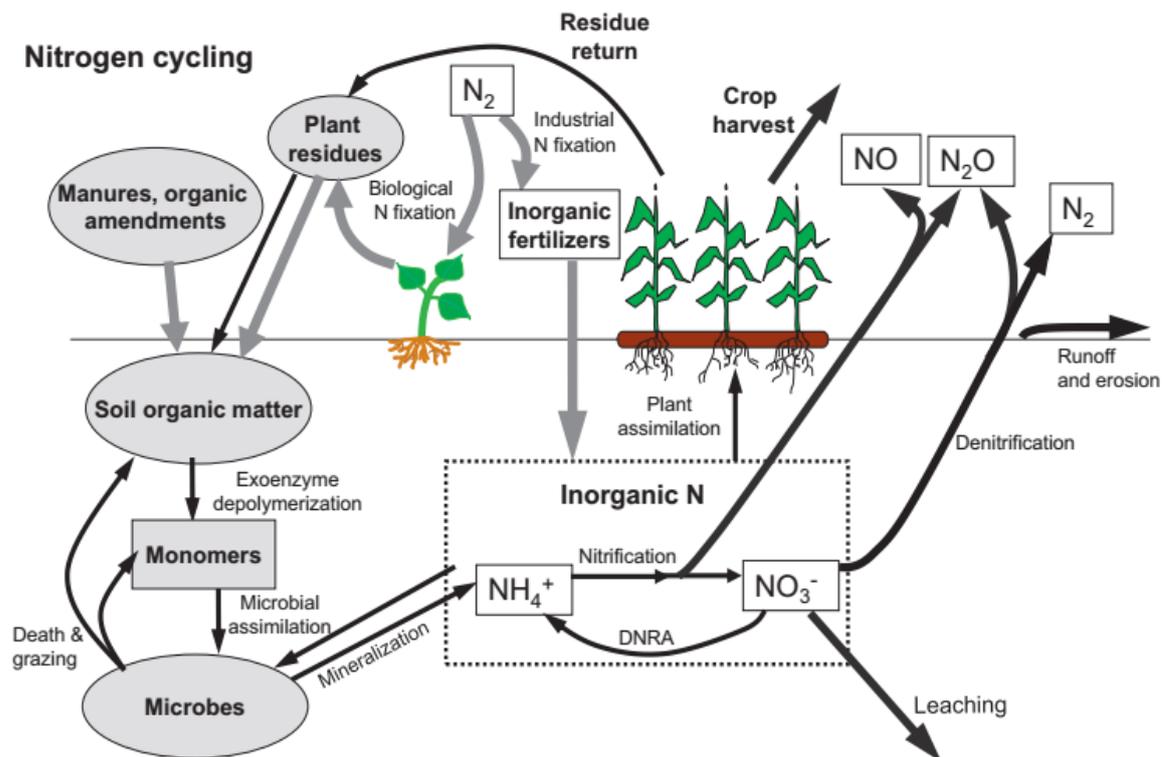


Figura 2: Ciclo del nitrógeno (Drinkwater et al., 2017) Se muestran las formas en las que se encuentra presente el nitrógeno en el suelo (óvalos grises) y los movimientos por los que transcurre dentro de él, así como las vías por las que se pierde del suelo. Las flechas grises señalan las vías por las que el N entra al sistema. Las flechas negras gruesas, las vías por las que se pierde y las flechas negras delgadas los movimientos dentro del sistema.

Los hongos y procariontes secretan exoenzimas que degradan y depolimerizan las cadenas complejas de carbono que se encuentran en los residuos orgánicos. El resultado son monómeros como aminoácidos o monosacáridos que pueden entrar a las células de plantas y microbios. Estos compuestos pasan de un organismo a otro mediante el metabolismo microbiano, la depredación y también los ciclos climáticos que rompen las células de los microorganismos. Una cuestión importante para el recambio de nutrientes es que, aunque inicialmente el nitrógeno se inmoviliza en las células microbianas, es excretado cuando las ingieren depredadores como nematodos, ya que los procariontes tienen una alta cantidad de nitrógeno en comparación con las necesidades de sus depredadores (Lynch, 2012). El exceso de nitrógeno se excreta en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ). Además, el amonio llega al suelo mediante la mineralización que realizan los microorganismos heterótrofos que rompen los monómeros para obtener energía produciendo nitrógeno en forma mineral (inorgánica).

En el suelo el amonio está sujeto a mucha competencia ya que es la forma preferida por las plantas, y los microorganismos para la síntesis de proteínas (Sánchez-Ortiz, 2019) y también es utilizado por procariontes nitrificantes. Estas últimas obtienen energía a partir de la oxidación de amonio a nitrato ( $\text{NO}_3$ ). El nitrato puede ser utilizado por las plantas, pero también es muy vulnerable de perderse del suelo tanto por lixiviación como por desnitrificación. Esta última ocurre cuando microorganismos heterótrofos que lo utilizan en lugar del oxígeno como aceptor último de electrones en la respiración, convierten el nitrógeno a formas gaseosas, en particular a óxido nitroso. La tasa de nitrificación depende de las condiciones que haya en el suelo, por ejemplo, la disponibilidad de carbono orgánico, cuando no hay suficiente la nitrificación es el proceso dominante en el suelo (Sánchez-Ortiz, 2019). Además de esto, otra salida de nitrógeno del sistema es mediante la erosión, en particular por escurrimiento de agua.

En cuanto al fósforo, su ciclado en el suelo involucra más procesos geoquímicos que el del nitrógeno (Drinkwater et al., 2017). También está disponible a partir de residuos orgánicos que los microorganismos descomponen y mineralizan. Pero a diferencia del nitrógeno no tiene un reservorio atmosférico, sino que puede llegar al suelo con el intemperismo ya sea biológico o abiótico de las rocas que lo contienen. No hay una forma gaseosa del fósforo a través de la cual fluya a la atmósfera, pero los organismos compiten contra procesos geoquímicos por él (Drinkwater et al., 2017). El carbono en el suelo se encuentra en la materia orgánica. Su movimiento en el suelo está regulado por la actividad de los organismos. Se puede encontrar en diferentes formas, o reservorios que varían en sus tiempos de vida de menos de un año hasta más de mil años (Drinkwater et al., 2017). También se encuentra en los seres vivos. En particular los microorganismos del suelo son una importante reserva y fuente de nutrientes, incluyendo al carbono. La materia orgánica pasa de materia viva en las plantas, a materia particulada que ya está rota por la acción de los organismos, a materia orgánica soluble cuando los organismos ya hicieron la descomposición y depolimerización. Pasa a los micro y macro organismos mediante las redes tróficas, para luego regresar al suelo.

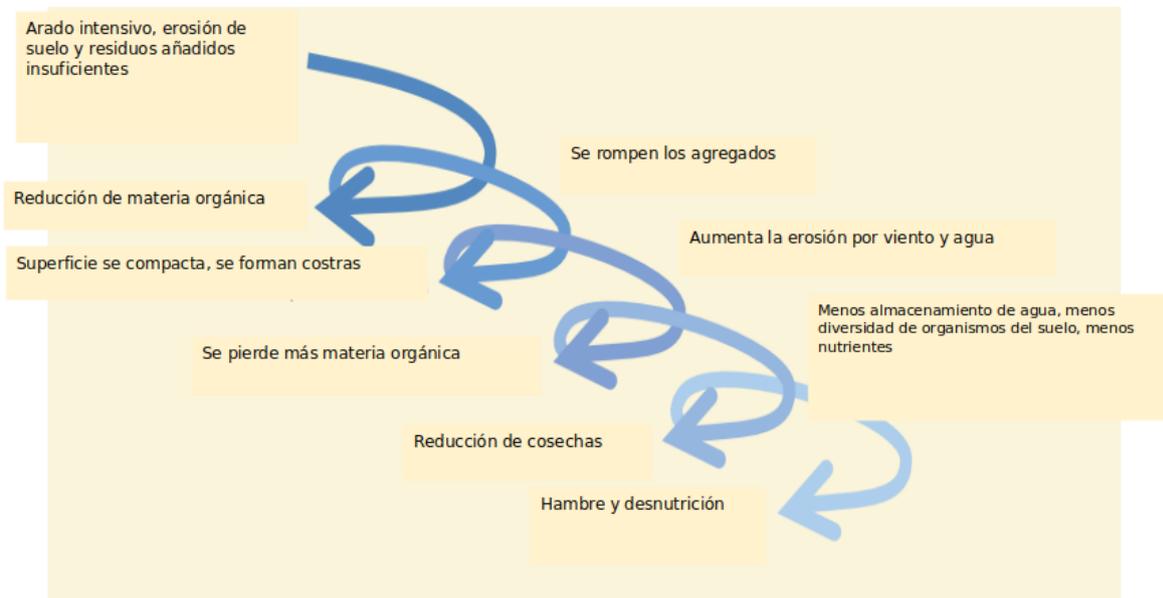
En este ciclado y reciclado de nutrientes, materia y energía es claro cómo el suelo es dinámico y se encuentra en constante cambio. Está compuesto de procesos diacrónicos con diferentes partes temporales: el paso de la materia orgánica de particulada, a disuelta a mineral, a los cuerpos de los procariontes, de los nemátodos, al suelo, a las plantas, al aire. Todo esto ocurre a distintas escalas de tiempo como los ciclos de los cultivos (y de las plantas en suelo silvestre, sucesión), los ciclos de vida de plagas e insectos benéficos, los estadios de

crecimiento y cronobiológicos de las plantas de interés y de todos los organismos involucrados. De los cientos de años que tarda en formarse y desintegrarse el humus, al intercambio catiónico.

De acuerdo con Dupré, los procesos parecen entidades porque están estabilizados de forma dinámica. En el suelo, el reservorio de nitrógeno, por ejemplo, puede parecer estático si la velocidad de mineralización y de asimilación son iguales, este error es frecuente, con consecuencias para el manejo (Drinkwater et al., 2017). Dupré sostiene que las cosas son abstracciones o patrones de estabilidad transitoria de los procesos. Existen mediante un recambio constante de materiales y energía. Aparte de los organismos, la materia del suelo se recambia a diferentes escalas de tiempo, mientras que la fracción estabilizada de materia orgánica puede durar cientos de años (Drinkwater et al., 2017), los nutrientes minerales duran tal vez horas. Por ejemplo, el  $\text{NO}_3$  dura un día en el suelo. El tiempo en que se degrada la materia orgánica particulada va de una temporada de cultivo a 10-20 años.

El suelo también necesita de la actividad biológica para continuar existiendo en tanto que suelo fértil capaz de sustentar la vida. Esto es evidente en el proceso de degradación del suelo. Si no hay materia orgánica y biodiversidad de procariontes y otros organismos, no se pueden formar los compuestos pegajosos necesarios para la generación de los agregados (Magdoff & Van Es, 2009). Si no llega nueva hojarasca, rastrojo o cubierta vegetal a la superficie del suelo, esta queda expuesta a las fuerzas erosivas del viento, la lluvia y el arado industrial excesivo. Si no hay microorganismos que descompongan y mineralicen los nutrientes, los ciclos biogeoquímicos se interrumpen y no hay alimento para los siguientes niveles tróficos y para las plantas. Si las redes tróficas se interrumpen no hay regulación para las poblaciones de posibles plagas. El suelo depende del movimiento y la actividad para seguir siendo lo que es.

# Espiral de degradación de suelo



*Figura 3: Espiral de degradación del suelo. Traducida de (Magdoff & Van Es, 2009). Se representa el proceso por el que la degradación y la erosión del suelo forman un círculo vicioso mediante el cual las condiciones de producción se destruyen cada vez más*

En el suelo existe una jerarquía de procesos anidados a diferentes escalas de tiempo, por ejemplo el intercambio catiónico, la mineralización, la nitrificación, desnitrificación, la temporada de siembra de cada cultivo, la formación y descomposición de humus o fracción estable, la intemperización de la roca madre, los ciclos de vida de microbios, los ciclos de vida de micro, meso y macrofauna, el tiempo de descomposición de rastrojo, de los abonos, la adquisición de  $\text{NH}_4$  por las raíces de las plantas. La degradación y restauración del suelo es el resultado de la acumulación de pequeños cambios a lo largo de décadas. Lo que le sucede al suelo a largo plazo viene de esos diferentes procesos a corto plazo (Drinkwater et al., 2017).

Dichos procesos proporcionan condiciones de posibilidad para procesos en niveles de organización más altos y más bajos. En un sistema agrícola, el manejo que es un proceso a niveles de organización altos da las condiciones para muchos procesos en el suelo, uno de ellos es la presencia y abundancia de diferentes phylas de microorganismos (Aguirre-Von-Wobeser et al., 2018; Arias et al., 1999; Denison & Harter, 1995; Fred & Graul, 1916; Fuentes Ponce et al., 2016; Galvez et al., 2001; Gryndler et al., 2006; Mäder et al., 2000; Moreno-Espíndola et al., 2018; Oehl et al., 2004; Streeter et al., 2008; Vargas et al., 2000), así como en el efecto de

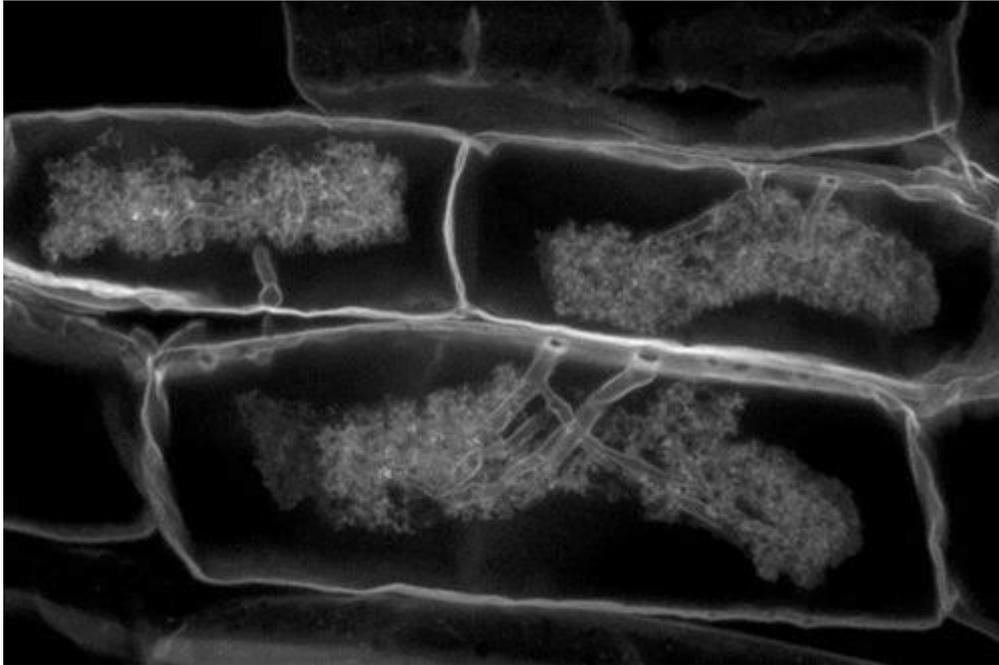
estos grupos en las plantas (Johnson, 1993; Kiers et al., 2002; López-Carmona et al., 2019), y la actividad enzimática microbiana (Fuentes Ponce et al., 2016; Moreno-Espíndola et al., 2018). Por otro lado, el metabolismo microbiano da parte de las condiciones para el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos y viceversa.

La nutrición vegetal es un proceso que depende de muchos otros a diferentes escalas como intemperismo, intercambio catiónico, erosión, infiltración de agua, oclusión, lixiviación, volatilización, mineralización, descomposición, despolimerización, humificación, presencia y actividad de micorrizas, raíces, estructura del suelo, que a su vez dependen de otros procesos (Drinkwater et al., 2017; Magdoff & Van Es, 2009). La mineralización depende de la materia orgánica que se deposite en el suelo dentro del manejo y de la presencia de microorganismos (Drinkwater et al., 2017; Magdoff & Van Es, 2009). La erosión es un proceso que depende tanto de la fuerza erosiva (agua, arado o viento), como de la vulnerabilidad a la erosión del suelo como resultado de la ausencia de cobertura, y de la agregación, que a su vez es resultado también de la actividad biológica y la disponibilidad de materia orgánica (Drinkwater et al., 2017; Magdoff & Van Es, 2009). La infiltración de agua depende de procesos como la estructura del suelo, la actividad de organismos como las lombrices.

Una característica tan importante para los humanos como la fertilidad del suelo es en realidad un proceso que depende de muchos otros procesos a diferentes escalas y en diferentes niveles de organización. Estos pueden ser desde el intercambio catiónico hasta el manejo y los procesos climáticos a escala de región o de cuenca hídrica, e incluso globales y por supuesto, interpenetrados con procesos sociales, políticos y económicos. Estas dependencias están basadas en la actividad, no son sólo estructurales.

Que el suelo no tiene límites definidos se evidencia, por ejemplo en la contaminación por fertilizantes lixiviados de acuíferos y cuerpos de agua río abajo. El exceso de nutrientes causa la eutrofización de dichos cuerpos de agua y genera zonas anóxicas. De hecho, hay una parte grande del Golfo de México en la desembocadura del río Mississippi que está muerta por falta de oxígeno debido a la contaminación que viene de las granjas establecidas en la cuenca (Magdoff et al., 2010). Tampoco tiene un límite definido con la atmósfera pues además del intercambio gaseoso propio de la respiración, el nitrógeno mineral añadido al suelo en forma de fertilizante también puede regresar a la atmósfera en forma de óxido nitroso tras la acción de los microorganismos desnitrificantes. Este es un gas con 300 veces más impacto en el calentamiento global que el CO<sub>2</sub> (Magdoff & Van Es, 2009). También son conocidos los casos en los que campos agrícolas se contaminan con las semillas patentadas de campos adyacentes

(Federal court of Canada, 2006; Goodman, 2010). En realidad, sería difícil determinar límites naturales en el suelo. El análisis de Dupré respecto de los límites imprecisos de los organismos es válido para los organismos del suelo, y se puede observar un caso particular en los ciclos biogeoquímicos: cómo los nutrientes fluyen a través de diferentes cuerpos bióticos y abióticos. También debe mencionarse la endosimbiosis, por ejemplo la de las micorrizas arbusculares en las que parte de ellas se encuentra físicamente dentro de las células de la planta (Gosling et al., 2006).



*Figura 4: Fotografía micorriza dentro de células de raíz de planta (Larry Peterson, University of Guelph, <https://www.herbsandapples.com/books/mycorrhizal-planet.php>).*

El suelo es también profundamente relacional, hay interrelaciones tan íntimas que los organismos pueden penetrar los límites espaciales asociados a la individuación de otro organismo. Las micorrizas extienden la raíz de la planta permitiéndole acceder a mucho más volumen y a micrositios que no podría alcanzar sin ellas. Otro ejemplo conocido es el de rhizobium, quien habita en nódulos dentro de las raíces de las leguminosas. También hay endoparásitos de todos los reinos. Otra forma de interpenetración es metabólica y fisiológica cuando los microorganismos imitan señales metabólicas y fisiológicas de las plantas, por ejemplo, al llevar a cabo infecciones (Jones & Dangl, 2006; Leach et al., 2017), o también hay microorganismos que pueden activar el sistema inmune de las plantas sin ser ellos patógenos (Raymaekers et al., 2020). Hay también microorganismos en la rizósfera cuyas señales

estimulan el crecimiento de las plantas (Ravelo-Ortega et al., 2023). Por otro lado, y como ya se mencionó, en los ciclos biogeoquímicos los nutrientes pasan por los cuerpos de muchos diferentes organismos a distintos niveles de las redes tróficas y también pasan por momentos abióticos, formando así un metabolismo de comunidad (Dupré, 2014).

El análisis de Dupré sobre la interdependencia ecológica se puede aplicar también en el suelo. No sólo los organismos, sino el sistema en su conjunto incluyendo sus características físicas y químicas depende para su continuación de la acción e interacción de numerosos organismos de diferentes reinos y también de entidades y procesos no vivos (Drinkwater et al., 2017; Magdoff & Van Es, 2009). Al no producir enzimas que degraden la materia orgánica y mineralicen los nutrientes, las plantas son dependientes de los microorganismos. También son dependientes unas de otras: la diversidad de plantas por rotación o policultivo aumenta la cantidad de carbono y nitrógeno en el suelo, suprime enfermedades y arvenses competidoras y promueve insectos benéficos. También dependen fuertemente de las micorrizas para transportar y adquirir nutrientes, en particular el fósforo. En ecosistemas silvestres, la fijación de nitrógeno por bacterias diazótrofes equivale a 150 millones de toneladas al año (Drinkwater et al., 2017), en agroecosistemas industriales se utilizan más de 100 millones de toneladas fijadas industrialmente. Las plantas también necesitan de los animales y protozoarios que depredan a los procariontes liberando así nutrientes a la solución del suelo (Drinkwater et al., 2017; Lynch, 2012). Incluso, muchas cianobacterias que son capaces de fijar tanto carbono como nitrógeno siendo así en teoría autosuficientes, forman mutualismos con plantas (Drinkwater et al., 2017).

Dupré sostiene que hay un desequilibrio injustificable en la atención que han recibido los organismos multicelulares, en particular animales y plantas, con respecto a los microorganismos. Afirma que la complejidad y dinamismo de las comunidades microbianas amerita cuestionarnos si ontológicamente son descritos mejor como organismos unicelulares que como pluri o multicelulares puesto que sus comunidades exhiben una notable regulación y comunicación (Dupré, 2012). Sus genes pueden ser encendidos y apagados por microbios de otras “especies” y son metabólicamente complementarios. En el suelo se puede observar esta especie de metabolismo de comunidad en la que los residuos de unas son los sustratos de otros en los ciclos biogeoquímicos (Drinkwater et al., 2017). De hecho las enzimas extracelulares hidrolíticas, es decir, que funcionan fuera de los “límites” del organismo, catalizan la mayor parte de las reacciones en el suelo (Ovsepyan et al., 2020) y son parte fundamental del ciclado de nutrientes.

Por último y por todo lo que se ha discutido aquí, ni los organismos en el suelo, ni los diferentes componentes del ecosistema suelo son externos a sus relaciones. Es decir, no están terminados antes de entrar en relación, sino que se forman y transforman en ellas. Sus relaciones definen lo que son, no hay una “esencia” que radique dentro de los límites de los componentes: ciclos de nutrientes, micorrizas, organismos que pueden vivir en él, estructura del suelo: poros, agregación, fertilidad del suelo, todas estas características se van formando en la interacción de unas con otras.

De acuerdo con Dupré, una de las dificultades para considerar a los organismos y a la biología bajo una ontología de objetos es la fuerte relacionalidad e interdependencia ecológica que es una condición necesaria para la existencia de todos los seres vivos (Dupré y Nicholson, 2018). Esta relacionalidad e interdependencia implica que los organismos no cumplimos con dos características necesarias para la ontología de objetos, que son: tener límites definidos y tener una cierta autonomía. El conocimiento que se tiene en materia de ecología nos indica que los organismos dependemos para continuar existiendo de relaciones de todo tipo con organismos y otros procesos de nuestro entorno.

Las comunidades ecológicas no se componen de organismos independientes sino de organismos que son y generan las posibilidades para la existencia de otros organismos en el ecosistema. Por ejemplo, un animal carnívoro depende de otros animales que son su alimento directo, pero también depende de que las plantas fijen energía mediante la fotosíntesis, y estas plantas a su vez dependen de que los microorganismos del suelo descompongan y mineralicen los nutrientes a partir de los residuos y restos de animales y plantas. Esto hace que sea incorrecto pensar a los organismos como independientes, pero también dificulta definir sus límites, en especial cuando las relaciones son particularmente íntimas y fundamentales.

Por ejemplo, todos los organismos eucariontes tenemos asociados a nosotros un microbioma del cual dependen muchas funciones. Por lo menos en el caso de los humanos y otros mamíferos, la relación con nuestros microbios es tan íntima que de ella depende el desarrollo ontogénico normal, el funcionamiento normal de aspectos fisiológicos y del sistema inmune (Dupré, 2012). Dupré también menciona el caso de *Buchnera aphidicola*, una bacteria que vive dentro de algunas células de los áfidos. Estos organismos dependen uno del otro ya que la bacteria sintetiza nutrientes que el áfido no puede generar de otro modo y la bacteria ya tiene su genoma tan reducido que no puede sobrevivir fuera del áfido. Con estos ejemplos en mente Dupré se pregunta cuándo o cómo se individualiza a los organismos y se determinan los

límites. ¿Se trata de dos organismos o de uno? Y señala que esa ambigüedad no representa un problema para la ontología procesual que él propone.

## 2. Tim Ingold: Devenir biosocial del suelo

Ingold contrapone el sustantivo *ser* (being), como en la expresión “ser vivo” con el verbo conjugado en gerundio *siendo* (becoming) (Ingold & Palsson, 2013). Sostiene que la forma, el fenotipo, no está dada, no preexiste al organismo, es decir los organismos no estamos nunca terminados. Un organismo no es un ser, sino un siendo: un devenir. El devenir es la construcción ontogénica del organismo. Como el devenir siempre es en relación, todo el tiempo toma y da al ambiente diferentes elementos que van desde óxido nitroso a enseñanza y aprendizaje de las prácticas de manejo agrícola. Cada devenir condiciona y recíprocamente es condicionado por otros devenires (Ingold, 2013). Oponiéndose al modelo ortodoxo que sostiene que la forma preexiste al organismo en los genes, Ingold sostiene una postura cercana a la de la Teoría de Sistemas en Desarrollo (DST) de Oyama (2000). Afirma que la forma se construye momento a momento durante la ontogenia, y que no hay primacía de los genes, no hay una asimetría entre los genes y todos los demás recursos del desarrollo. La forma se genera en el flujo y la interacción de todos los diferentes materiales que participan en el desarrollo: células, microtúbulos, señalización parácrina y endócrina, moléculas adhesivas, receptores de membrana, temperatura, pH, iones, fotoperiodo, cuidados parentales, metilación, y mucho más. Algunos de los procesos que forman parte de estos recursos del desarrollo están comprendidos en el ámbito que denominamos “natural” como el fotoperiodo, las fibras musculares y nerviosas, los huesos, las articulaciones y las  $\beta$ -cateninas, mientras que otros se encuentran en el ámbito “social”, como los instrumentos musicales, los zapatos, el piso o las mochilas (Ingold, 2004). Utilizo el término “biosocial” según la acepción propuesta por Ingold.

No afirmamos que lo biológico y lo social son complementarios (...) sino que no hay división entre los dos. Los dominios de lo social y lo biológico son el mismo. Pero tampoco se trata de una afirmación reduccionista. No estamos reduciendo lo social a lo biológico ni viceversa. La vida de un devenir (becoming) (...) puede compararse con una cuerda de cáñamo, tejida de múltiples hebras que a su vez están tejidas de múltiples fibras, a su vez tejidas de sus componentes celulares y moleculares. Podría, en principio, ser examinada desde cerca o desde lejos, microscópica o macroscópicamente. Pero a cada nivel de resolución encontramos

la misma complejidad, el mismo entretejerse de las hebras, el mismo intercambio metabólico. Como la cuerda el devenir es biológico hasta arriba y social hasta abajo (Ingold, 2013, p. 9)

El devenir es también necesariamente proceso. Mientras que el *ser* (being) puede ser considerado una entidad o objeto, el devenir es forzosamente cambio y movimiento en relación que nunca está terminado. Considero que estas dos ontologías tienen puntos en común muy significativos. Ambas señalan la interdependencia, la ausencia de límites definidos y el hecho de que los organismos se constituyen por sus relaciones. Las relaciones no son externas a los organismos y estos no están terminados y posteriormente entran en relaciones, sino que las relaciones los forman.

La interdependencia ecológica es, entonces, uno de los aspectos más característicos del mundo vivo y supone grandes problemas para una ontología de objetos o sustancias. Una razón es que esta ontología típicamente considera las relaciones como externas a las cosas. Una cosa se concibe como aquello que es de manera independiente a las relaciones en las que entra. Una precondition para esta independencia es que tenga límites relativamente claros que permitan su individuación objetiva como entidad discreta. Más aún, las propiedades (...) que determinan tanto sus límites como su existencia se cimientan en características que yacen enteramente dentro de esos límites. La interconectividad de la vida cuestiona todas estas suposiciones sustancialistas. Los organismos persisten gracias a una intrincada red de relaciones que mantienen unos con otros, la cual en parte les confiere sus propiedades, capacidades y comportamiento distintivos (Dupré y Nicholson, 2018, p. 21).

Ingold propone (2013) que es posible mirar el mundo humano y el mundo “natural” desde un mismo lente que es el del devenir en relación. En este trabajo nos proponemos usar el andamiaje teórico que generó Ingold para analizar el suelo. El suelo deviene, es decir se forma y transforma, en diferentes relaciones que pueden localizarse en el dominio de lo que llamamos “natural” y de lo “social”. Desde el trabajo de Darwin (1881), y recientemente de forma más extensa con los trabajos en Construcción de Nicho (K. N. Laland & Odling-smee, 2005; K. N. Laland et al., 2013, 2011; K. Laland et al., 2014), las lombrices son famosas por influir fuertemente en su entorno. De hecho, las diversas especies de lombrices de tierra son los únicos organismos de todo su phylum en habitar un entorno terrestre, todo el resto de los anélidos habitan en agua dulce o marina (Sultan, 2015).

Es por esto que su fisiología es la de un animal acuático. Esta limitación las obliga, para sobrevivir a construir un entorno que sea apto para ellas, ya que son altamente vulnerables a la desecación. Para darnos una idea de esto, recordemos que pierden entre el 60 y hasta 90% de su agua corporal diariamente (Sultan, 2015). Por ello, las lombrices requieren un entorno que no sea deshidratante y dentro del cual puedan extraer fácilmente agua, así como oxígeno y nutrientes. Ellas, mediante esta construcción de nicho construyen este ambiente en el suelo, un entorno húmedo, aireado, y rico en nutrientes. Al hacerlo modifican las condiciones de existencia de muchos otros organismos, entre ellos, nosotros ya que su actividad contribuye a generar un suelo apropiado para la agricultura. Algunos de los productos de sus actividades que son significativos para el cultivo son la agregación del suelo, la descomposición de materia orgánica aumentando el contenido y disponibilidad de nutrientes (Drinkwater et al., 2017; Magdoff & Van Es, 2009). Así mismo propiciar la existencia y actividad de microorganismos y la generación de túneles que permiten la entrada y contención de agua en el suelo, el intercambio gaseoso, el crecimiento de raíces y en términos generales promover el ciclado de nutrientes (Magdoff & Van Es, 2009).

La construcción de nicho que realizan las lombrices junto con todos los organismos mencionados anteriormente, interactúa y está en relación con las diferentes prácticas agrícolas que realizan los humanos mediados, por supuesto, por formas específicas de organización de la producción y de relaciones sociales. Por ejemplo, las lombrices no pueden vivir en suelos compactos ya que estos se unen al agua con tanta fuerza que las lombrices se deshidratan (Sultan, 2015).

Sin embargo, hay muchas prácticas que se realizan en la agricultura que favorecen la compactación del suelo, es decir construyen un suelo compacto en el que las lombrices no pueden vivir. Este es un ejemplo de cómo factores “biológicos” y “sociales” se condicionan unos a otros en el devenir del suelo. El manejo agrícola que se localiza en el dominio de lo social condiciona la existencia y actividad de diversos grupos biológicos, que a su vez cambian las condiciones agrícolas. En este intercambio el suelo cambia en sus características físicas, químicas y biológicas: deviene. Un aspecto importante del manejo es la forma en que se trabaja la fertilización y la materia orgánica. La retención de residuos de la cosecha y la aplicación de materia orgánica previene la erosión por viento y agua. Ayuda a mejorar la estructura del suelo ya que al descomponerla los microorganismos y lombrices sueltan sustancias que ayudan a formar agregados, junto con la acción de las hifas y raíces. Esto evita la pérdida por erosión y aumenta la retención de agua. La actividad de las lombrices y las prácticas agrícolas se condicionan mutuamente. Por ejemplo, la adición al suelo de fertilización con materia orgánica

o por el contrario con fertilizantes minerales, además de la utilización de insumos sintéticos y otras prácticas como policultivo o monocultivo cambian la composición de las comunidades microbianas en el suelo.

Grupos de procariontes con diferentes características en cuanto a nicho habitan suelos en los que se llevan a cabo diferentes prácticas. Se ha encontrado que los phyla Gemmatimonadetes y Acidobacteria son más abundantes en suelos que están bajo agricultura convencional mientras que Bacteroidetes, Elusimicrobia, Verrucomicrobia, Actinobacteria y Burkholderiales son más abundantes en la milpa (Aguirre-Von-Wobeser et al., 2018; Moreno-Espíndola et al., 2018).

Acidobacteria prefiere ambientes limitados nutricionalmente y Gemmatimonadetes es un phylum de bacterias que se ve favorecido por bajas condiciones de humedad (Fuentes Ponce et al., 2016). De hecho, ambos grupos son más abundantes en el suelo exterior a la rizósfera que en suelos ricos en vegetación (Fuentes Ponce et al., 2016). Por el contrario, las Bacteroidetes son degradadoras primarias de material orgánico, con la capacidad de degradar celulosa, se consideran copiótrofas (Fuentes Ponce et al., 2016). Las Elusimicrobia encontradas están relacionadas filogenéticamente con simbioses intracelulares en los sistemas digestivos de termitas (Fuentes Ponce et al., 2016). Este también es un entorno rico en materia orgánica, en particular celulosa. Verrucomicrobia es un phylum con muy pocos taxones cultivables que establece interacciones favorables con las raíces de las plantas, incorporan carbono derivado de las plantas y contienen genes para la degradación de sacáridos de origen vegetal y carbohidratos complejos (Fuentes Ponce et al., 2016). El phylum Burkholderiales se ha visto relacionado con la supresión de patógenos y las Actinobacterias producen compuestos que promueven el crecimiento vegetal y también antibióticos (Fuentes Ponce et al., 2016). Estos diferentes grupos de bacterias participarán de maneras diferentes en los ciclos biogeoquímicos de los que depende la nutrición vegetal. Los ciclos de nutrientes dependen de la producción y actividad enzimática de dichos organismos. De hecho, se han medido valores inferiores de actividad enzimática en cultivos con manejo convencional que en campos con fertilización orgánica (Fuentes Ponce et al., 2016). Inclusive la actividad de ureasa es mayor en campos fertilizados de manera orgánica que en campos fertilizados con urea, debido a la diversidad microbiana (Fuentes Ponce et al., 2016).

Los sistemas con insumos sintéticos presentaron los índices más bajos de colonización por micorrizas (Fuentes Ponce et al., 2016), y de estos el monocultivo convencional fue el más bajo. La fertilización orgánica estimula la colonización de micorrizas porque estas requieren carbono como materia prima y porque en este tipo de fertilización no hay exceso de fósforo

que inhiba la interacción entre la micorriza y la planta. Los niveles más altos de colonización se encontraron (Fuentes Ponce et al., 2016) en la milpa y en el sistema con labranza mínima, rotación, fertilización orgánica y retención de residuos. Se ha reportado en estudios a largo plazo, que las prácticas de agricultura con fertilizantes minerales pueden tener un efecto negativo sobre las micorrizas (Galvez et al., 2001; Gryndler et al., 2006; Mäder et al., 2000; Oehl et al., 2004), en especial la fertilización con fósforo mineral (Drinkwater et al., 2017). Las prácticas agrícolas cambian el entorno del suelo, lo que a su vez cambia los tipos de organismos que pueden prosperar en él. Estos recíprocamente cambian las condiciones del suelo para la agricultura. De nuevo podemos observar que a cada nivel de organización, el suelo deviene en relaciones que provienen tanto del dominio social, como del biológico las cuales se condicionan mutuamente.

Así mismo, también hay muchas prácticas en la agricultura que propician la erosión, es decir la pérdida de la capa superficial del suelo, que es la capa más rica en materia orgánica y actividad biológica. Entre ellas están la labranza intensiva, dejar el suelo sin cobertura durante los periodos inter cultivo, y la reducción de materia orgánica (Magdoff & Van Es, 2009). Por otro lado, también hay muchas otras prácticas que evitan la erosión y compactación del suelo. Con sus actividades, los seres humanos en sociedad, en relación con los organismos del suelo construyen suelos con diferentes características. Las características físicas, químicas y biológicas del suelo son modificadas por la biota y los seres humanos, y a su vez afectan a la biota y al cultivo. Muchos suelos llegan a ser susceptibles a la erosión debido al mal manejo. Una causa principal de susceptibilidad es la falta de materia orgánica, ya que cuando escasea no hay suficiente material pegajoso que mantenga las partículas unidas en los agregados. Otro factor de susceptibilidad es que el suelo quede desnudo, esto es sin cobertura vegetal, ya que así no hay nada que proteja contra el impacto de las gotas de lluvia o del viento, y estos transportan las partículas de suelo hacia los terrenos bajos, muchas veces hacia cuerpos de agua (Magdoff & Van Es, 2009).

Hay muchas prácticas que los agricultores pueden utilizar para evadir la pérdida de cobertura como factor de susceptibilidad, como cubrir el suelo con residuos de la cosecha, con mantillo (mulch) que son coberturas de trozos de madera, aserrín, o bien plástico o con siembras de cobertura (cover crops) que son cultivos que se plantan cuando termina la temporada del cultivo de interés económico, para proteger el suelo y mantener su materia orgánica y biodiversidad (Magdoff & Van Es, 2009). Otro factor de susceptibilidad es la baja capacidad de infiltración de agua que tienen los suelos compactados, ya que entonces el agua en lugar de penetrar por los poros y ser captada, escurre por la superficie arrastrando partículas de la capa superior de

suelo. Existe un círculo vicioso que se establece con la erosión, mientras más erosión más se degrada el suelo y mientras más se degrada hay más erosión (Magdoff & Van Es, 2009). Recordando que en el apartado anterior analizamos la degradación del suelo, esta es un proceso en el que el suelo pierde las características que lo hacen favorable al cultivo, principalmente por erosión, falta de materia orgánica y compactación, donde cada una de estas condiciones favorece las otras. Los suelos se degradan porque el mejor material, la capa enriquecida con materia orgánica y biodiversidad, se pierde. Los suelos erosionados, por lo tanto, tienen características físicas, químicas y biológicas desfavorables, y por esto, menor capacidad de sustentar los cultivos.

### **3. Levins y Lewontin: Biología dialéctica del suelo**

La dialéctica de Richard Levins y Richard Lewontin se caracteriza por ser más una forma de pensar que un contenido del pensamiento, aunque es ambas cosas. Involucra ciertos métodos de reflexión y análisis. Cuando se trabaja en ciencia, es decisiva al momento de formular el problema y crear un diseño experimental, determinar qué variables son relevantes para nuestra pregunta y también al momento de delimitar y decidir qué incluir y qué dejar fuera (Levins y Lewontin, 2007). La dialéctica también es decisiva en la interpretación de los resultados, ya que permite cuestionar los límites que ideológicamente se dan por sentados así como aquello que se supone *a priori*. Un enfoque dialéctico reconoce al sistema con el que se trabaja como una construcción intelectual ya que hay diferentes maneras de categorizar la realidad y de formular los problemas. La dialéctica se pregunta por las consecuencias para nuestros modelos, resultados y nuestro entendimiento del mundo de categorizar y plantear los problemas de maneras diferentes. Cada una de ellas tendrá el efecto de aclarar ciertos aspectos de la realidad, pero también de ignorar o incluso distorsionar otros. De acuerdo con Levins y Lewontin el valor de la dialéctica es que proporciona un método crítico y racional para cuestionar la actual fuente principal de error en biología que es el reduccionismo cartesiano, ya que es el modo de análisis dominante. Sin embargo la biología dialéctica busca construir una alternativa coherente y racional tanto al reduccionismo como al holismo idealista. La biología dialéctica se centra en la totalidad, la interpenetración y de manera similar a Dupré, enfatiza la estructura de los procesos más que de las cosas (Levins & Lewontin 2007).

La biología dialéctica critica la unilateralidad en el sentido de tomar alguno de los polos de una contradicción y hacer de él un absoluto, como en el caso del reduccionismo y por otro

lado del holismo como ausencia de estructura en las relaciones que conforman el mundo vivo. El reduccionismo y el holismo son unilaterales porque cada uno busca explicar el universo en términos ya sea de la parte más pequeña, o por el otro lado, en términos del todo, subordinando la parte y recurriendo a un supuesto principio universal organizativo. La dialéctica busca construir una tercera perspectiva reconociendo que ninguno de estos dos polos es suficiente para explicar el mundo ya que sus dinámicas y procesos se dan en la interpenetración de los dos opuestos.

El problema es construir un tercer punto de vista, uno que no vea el mundo entero ni como un todo indisoluble, ni como la igualmente incorrecta pero actualmente dominante perspectiva, de que cada nivel del mundo está hecho de pedazos y partes que pueden aislarse y que tienen propiedades que pueden estudiarse de manera aislada. Ambas ideologías, (...) nos impiden una comprensión rica de la naturaleza y nos impiden resolver los problemas a los que la ciencia se requiere aplicar (Lewontin, 1991).

Con todos los pares de opuestos de los cuales se tome uno, ignorando el otro y su interpenetración, se pierde la posibilidad de una comprensión más profunda y correcta del proceso que estemos estudiando. Al categorizar el mundo en subdivisiones para su estudio, los científicos creamos oposiciones entre una entidad y lo que no es esa entidad, por ejemplo, el organismo y el ambiente: el organismo no es el ambiente y el ambiente no es el organismo. Sin embargo, es importante recordar que no hay ninguna forma de dividir el mundo en categorías de forma inequívoca y definitiva por lo que estos opuestos van a interpenetrarse y frecuentemente, como en el caso mencionado del organismo y el ambiente, esta interpenetración será clave para entender el objeto de estudio. Cuando estas oposiciones se reifican resultan en falsas dicotomías. Algunos de estos opuestos que utilizamos implícita o explícitamente en la labor de la biología son: sujeto/objeto, causa/efecto, todo/parte, biológico/social, ontogenia/filogenia, organismo/ambiente, cuantitativo/cualitativo.

De acuerdo con Hegel “La verdad es el todo”. Es imposible estudiar el todo, pero Levins y Lewontin subrayan el valor práctico de esta premisa al plantear los sistemas de estudio e interpretar los resultados. Sabemos que los problemas siempre serán más grandes de lo que inicialmente nos imaginamos y las variables relevantes van a traspasar los límites entre disciplinas. Incluso después de haber definido el problema en los términos más amplios posibles, estamos conscientes de que hay más cosas que inciden en el sistema y que pueden cambiar nuestras conclusiones. Contrario a la suposición reduccionista de que las cosas están

aisladas hasta que no se demuestre lo contrario, la biología dialéctica trabaja bajo el supuesto de que las cosas están conectadas, y se plantea la tarea de identificar sus conexiones, su sentido y relevancia. Los autores sostienen que el ignorar las conexiones entre fenómenos, especialmente de áreas de conocimiento separadas, ha sido una de las mayores fuentes de error en biología.

Como Dupré, Levins y Lewontin consideran que el cambio es característico de los sistemas biológicos. También señalan que las diferentes escalas de tiempo en las que sucede un fenómeno con respecto a otro o con respecto a nuestra perspectiva, pueden hacer que él que sucede a mayor escala de tiempo parezca estático, sin embargo no lo está. “El cambio es universal y hay mucho que está pasando que cambia todo” (Levins y Lewontin, 2007), por lo que, a diferencia del pensamiento cartesiano-newtoniano, la persistencia y el equilibrio requieren una explicación. Levins, como Dupré, considera que las “cosas son fotografías de los procesos” (2010). Los organismos y demás sistemas estamos constantemente siendo afectados por factores externos que causan cambios, pero además tenemos dinámicas internas que constantemente también generan cambios. Esto es debido a que somos internamente heterogéneos con diferentes procesos que llegan a ser opuestos a distintas escalas espaciales y temporales.

Levins y Lewontin (1985) describen que uno de los principios básicos que les permiten hacer ciencia de forma dialéctica es el de *historicidad*. Se encuentra en dos sentidos, la historia del objeto de estudio y la historia del pensamiento acerca del objeto de estudio. En el caso del suelo hay que reconocerlo como un proceso histórico cuyas propiedades no están dadas de forma esencial sino que devienen en procesos biológicos y se construyen también por la acción humana. En cuanto a la historia del pensamiento sobre el objeto de estudio, ellos sostienen que conocer esta última es fundamental al momento de hacer ciencia para evitar caer en los sesgos ideológicos de pensamiento propios de los diferentes momentos históricos en los que se ha generado conocimiento al respecto del objeto de estudio. Señalan que actualmente hay suposiciones implícitas acerca de la realidad que no suelen cuestionarse y que afectan la forma de hacer ciencia. Algunas de ellas son la separación entre causas y efectos y la relación del individuo al colectivo: parte y todo.

Uno de los compromisos ontológicos del reduccionismo cartesiano es con las causas únicas y unidireccionales (Levins y Lewontin, 1985). Las causas son propiedad de los sujetos y los efectos de los objetos y no hay ambigüedad ni posibilidad de intercambio entre estos. Aunque puede haber retroalimentación en la que el sujeto recibe información de sus efectos en

el objeto y con base en esta cambie cuantitativamente su salida, el sujeto sigue siendo el sujeto, él que realiza un efecto sobre el objeto. Además, el reduccionismo cartesiano trabaja mayoritariamente con causas únicas, o un número reducido de causas directas. Si hay más de una, se busca la causa principal y las diferentes causas se tratan de manera aislada e independiente (Lewontin, 1991).

Las causas en el reduccionismo cartesiano se buscan a nivel individual, por ejemplo, buscan la causa de las enfermedades en un gen, o de la guerra en la agresión individual. Este tipo de razonamiento lleva a confundir el agente inmediato en un proceso con su causa. Por ejemplo, aunque actualmente ya está bastante documentado que no se contrae el cáncer mesothelioma sin haber ingerido asbestos o algún compuesto relacionado (Lewontin, 1991), decir que los asbestos son la causa de dicho cáncer es ignorar toda la estructura de relaciones sociales por las cuales algunos seres humanos quedan expuestos a estos contaminantes. El resultado es una fetichización en la cual se le dan poderes causales a un objeto inanimado. Sin embargo, aunque se prohíba un contaminante determinado, es rápidamente sustituido por otro, como hemos visto incontables veces. Esto se debe a que la raíz del problema no se encuentra en los asbestos sino en ciertas formaciones sociales que determinan la producción y el consumo. La dialéctica no busca causas únicas, unilaterales e inmediatas, sino las determinaciones que provienen de la organización de todo el sistema.

Otro ejemplo de esto se ve en la narrativa dominante en biología molecular sostiene que el DNA sintetiza proteínas y que este también se “autorreplica”. De acuerdo con este discurso el DNA sería el sujeto causal de la síntesis de proteínas y del mismo DNA; sin embargo sabemos que para estos procesos es necesario todo un andamiaje de procesos moleculares y celulares que implican enzimas, proteínas, y requieren el ambiente recluso y específico de la célula para que las reacciones puedan catalizarse. La causa de la síntesis no está realmente en el DNA sino en todo el sistema.

Hay muchos otros puntos en los que la biología dialéctica de Levins y Lewontin se encuentran y resuenan con las ontologías de Dupré e Ingold. La biología dialéctica es otra ontología que enfatiza la relación. Así como Dupré e Ingold no consideran que haya entidades independientes y terminadas que posteriormente entran en interacciones, Levins y Lewontin señalan que las partes no son anteriores al todo porque las partes devienen, se transforman en el todo junto con él. Es decir, los diferentes elementos dentro de un sistema cambian sus propiedades y características como consecuencia de ser parte de dicho sistema.

Desde nuestra perspectiva, (...) si el todo es “más que la suma de las partes” (...) es la pregunta equivocada, porque ya acepta una visión incorrecta de las partes y los todos. En breve, la perspectiva estándar toma las partes como entidades dadas *a priori* que pueden definirse de manera aislada y cuyas propiedades pueden considerarse en un estado aislado previo ideal antes de que estas unidades se articulen en el todo (...). Las partes no se juntan para hacer el todo, sino que se generan en el todo al tiempo que el todo se genera (Levins y Lewontin, 2007)

Como humanos, no podemos absorber o fijar el nitrógeno atmosférico para hacer nuestras proteínas, está técnicamente, fuera de nuestro metabolismo de los aminoácidos. La mayor parte del tiempo, tampoco tenemos el control individual de una colonia de procariontes diazótrofos (salvo en alguna condición de laboratorio). Sin embargo, podemos aprovechar ese nitrógeno de la atmósfera en la medida en que un todo social, por ejemplo el de las comunidades rurales, cultiva maíz y calabaza junto con el frijol, en cuyos nódulos las *rhizobium* realizan la fijación biológica del nitrógeno. De esta forma la parte (la persona individual) cambia sus capacidades como consecuencia de devenir en el todo, junto con el todo. De acuerdo con el reduccionismo cartesiano el mundo está hecho de objetos separados que existen de manera independiente previamente al todo y se juntan posteriormente para formar el todo. Además la separación del todo en partes es única y no depende del contexto ni de la pregunta. Las partes están dadas de forma esencial. Para la biología dialéctica las partes no tienen una existencia previa al todo en tanto partes. Puede haber unidades o elementos independientes que no son parte del todo en cuestión, por ejemplo, hay células de bacterias fuera de un árbol, y había células de diferentes organismos antes del árbol, pero las células del árbol devienen en el árbol, junto con él. Así mismo, las propiedades de las partes no existen de forma previa al todo sino que se adquieren al formar parte de un todo. Las partes y el todo están interpenetradas como consecuencia del constante intercambio entre sujeto y objeto. Las partes se recrean unas a otras en su interacción y también recrean el todo, pero el todo a su vez recrea las partes. No existe una forma única y “natural” de dividir al todo en partes, estas se definen dependiendo del contexto y del funcionamiento del todo. Además, todo y parte se definen conforme a la pregunta que se quiere responder. Por estas razones las partes son temporales e históricas, no tienen una esencia de partes.

En el caso del suelo, como ya hemos mencionado, las propiedades y características que definen la fertilidad y la capacidad de sustentar el cultivo del suelo no están dadas previamente ni residen intrínsecamente en sus partes, sino que se generan en el funcionamiento de todo el

ecosistema. Por ejemplo, la agregación del suelo. La formación y mantenimiento de agregados en el suelo es determinante para la fertilidad pues tiene una gran influencia en evitar la erosión y la compactación, y además permite la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Los suelos compactos se sellan en la superficie impidiendo la infiltración de agua, también retardando o impidiendo la germinación. Se pierden los poros más grandes al interior del suelo, resultando en menos infiltración, percolación y retención de agua, menor intercambio gaseoso, menor biodisponibilidad de agua y menor actividad biológica (Magdoff & Van Es, 2009). Además, los suelos compactados son tan duros que impiden el crecimiento de las raíces de las plantas, lo cual tiene efectos de sequía pues la planta no puede explorar el suelo en busca de agua y nutrientes. Aunado a esto las plantas generan señales hormonales de estrés que inhiben su propio crecimiento (Magdoff & Van Es, 2009). Como ya se mencionó, la erosión también afecta la fertilidad pues causa la pérdida de la capa con características más favorables para el cultivo, además de que erosión y compactación se retroalimentan. Esto quiere decir que la fertilidad del suelo no existe de manera previa e intrínseca en las partículas de suelo y posteriormente esas partes se juntan para hacer el todo suelo. Las propiedades de las partes (en este caso la fertilidad) devienen en el todo, conforme el suelo de un campo como sistema pasa por diferentes procesos. La agregación se modifica con diferentes variables y prácticas agrícolas. La presencia de biodiversidad y materia orgánica favorecen la generación de sustancias orgánicas pegajosas que, junto con las hifas y raíces, permiten la formación de agregados. Hay prácticas agrícolas que previenen o propician la compactación. Utilizar vehículos pesados cuando el suelo está mojado es una fuerte causa de compactación en el subsuelo, el exceso de arado y el suelo desnudo es causa de compactación en la superficie, así como la falta de materia orgánica. Por el contrario, el uso de siembra de cobertura (cover crops), mantillos (mulches), abonos tradicionales y abonos verdes (dejar los residuos del cultivo en el suelo) evitan tanto la erosión como la compactación (Magdoff & Van Es, 2009).

Sin embargo, el todo en el suelo no se limita al ecosistema, sino que incluye al sistema económico y productivo en el que un campo se encuentra, pues estos condicionan las prácticas agrícolas que se llevarán a cabo en él. En el sistema de producción de alimentos dominante en nuestra sociedad juegan un papel fundamental las corporaciones de la agroindustria. Estas son corporaciones que producen los insumos para la agricultura como pesticidas, herbicidas, fertilizantes, maquinaria y semillas, y que procesan, trasladan y comercializan los productos agrícolas. Estas corporaciones concentran la mayor parte de la ganancia en el sector agrícola. Por ejemplo, en EU al final de los años noventa, sólo el 10% del valor de los productos agrícolas

iba a los productores, mientras que el 25% se iba hacia las corporaciones fabricantes de insumos y el 65% al procesamiento de los productos agrícolas, transporte y comercialización que les daban su forma final de mercancía para el consumidor (Levins y Lewontin, 2007).

El desarrollo de este sector económico, como sucede en general bajo el capitalismo, ha llevado a la generación de monopolios y oligopolios (Heffernan, 2000). Se trata de un número reducido de empresas que controlan tanto la generación de insumos como el procesamiento de los productos del campo, en muchos sectores como pollo, cerdo, res, granos, pescados, etc. Por ejemplo, ConAgra, al final del siglo XX, era una de las cuatro empresas más grandes en pollo, res, cerdo, cordero, pavo y mariscos, también es uno de los distribuidores más grandes de agroquímicos y en 1990 entró en el sector de las semillas, en ese momento ya era dueña de 100 elevadores de grano, 2000 vagones de tren y 1100 barcos. Cargill, es el tercer productor de grano, el cual se usa en el alimento para el ganado. En la producción de alimento para ganado es la segunda empresa más grande, y también es una de las procesadoras más grandes de carne de cerdo y res. Hasta el 2019 estuvo durante 12 años como la compañía estadounidense privada más grande según las listas de Forbes (Murphy, 2020) y de acuerdo con su página de internet (*Cargill Worldwide*, acceso: 21/11/20) operan en 70 países en África, el Pacífico Asiático, el Medio Oriente, Europa, Latinoamérica y Norteamérica. En México en 2018 ya eran el comercializador más grande en productos como aceites y leguminosas (Sánchez, 2018), operando en 13 estados con 25 instalaciones. Invierten anualmente en el país alrededor de 200 millones de pesos y de acuerdo con su página (*Corn Flour*, acceso: 21/11/20.) tienen el monopolio de la cosecha de una variedad híbrida llamada “supernixtamal”.

Estas empresas oligopólicas que suministran los insumos y procesan los productos de la agricultura se convierten en lo que llaman corporaciones integradoras cuando la empresa controla cada paso de la cadena productiva y sólo contrata al agricultor con su tierra para el paso del cultivo propiamente dicho. En este modelo la empresa dice al agricultor qué, cómo, y cuánto producir (Heffernan, 2000; Levins y Lewontin, 2007). El agricultor firma contratos en los cuales acepta sólo utilizar los insumos de la empresa y producir en las condiciones que ésta indica. Finalmente la empresa integradora compra el producto que generó el agricultor. De esta forma el agricultor como productor pierde el control del proceso de producción y su producto le es alienado<sup>1</sup> (Levins y Lewontin, 2007). Las decisiones sobre la producción agrícola están

---

<sup>1</sup> esta dinámica se corresponde bien con lo que Marx denomina la transición entre la subsunción formal y la subsunción real al capital (Marx, 2018).

cada vez más en las manos de estas corporaciones. Conforme el mercado se convierte en un oligopolio en el que 4 empresas controlan la mayor parte, el “mercado libre” desaparece y los agricultores dependen totalmente de las condiciones que las integradoras impongan. De hecho, los agricultores difícilmente llegan a salir de la deuda en la que incurren para cumplir las condiciones de la empresa, sus hipotecas son a plazos de 10 a 15 años, mientras que sus contratos con la empresa integradora son de seis en seis semanas (Heffernan, 2000).

Este es el modelo con el cual el capital ha logrado penetrar en la agricultura, lo cual, por las condiciones físicas del proceso le tomó más tiempo que en el sector industrial. Ha logrado obtener un control total o casi total sobre el sistema de comida a nivel cada vez más global (Heffernan, 2000). El camino para llegar a esta posición de un desproporcionado poder económico frente al agricultor se abrió a través de la introducción de tecnologías, el tractor, agroquímicos y semillas híbridas que tienen el objetivo y el efecto de convertir a las semillas en mercancías ya que el productor debe regresar al mercado a comprarlas como insumos externos (Kloppenburg, 2004). Estos son insumos que los agricultores no podían producir artesanalmente de forma autónoma y que tampoco podían evitar debido a la desventaja que eso causaría a corto plazo en la competencia comercial. Esta competencia y las presiones que los productores constantemente recibían de bajar sus precios y al mismo tiempo el aumento del costo de los insumos los obligaron a adoptar nuevas tecnologías y aumentar su escala de producción (Levins y Lewontin, 2007). El gran poder económico y político que actualmente tienen las corporaciones agroindustriales las ha llevado a dominar las agendas y políticas de los estados para el desarrollo rural (Altieri, 2000).

A inicios del desarrollo del capitalismo, la agricultura campesina era para el autoconsumo, en la cual los agricultores producían sus propias herramientas e insumos, y generaban muy poco excedente (Heffernan, 2000). Sin embargo, el capitalismo industrial requería un gran excedente para sostener a la población urbana, además de que la razón de ser de las colonias en América era mandar materias primas a Europa. Por estas razones las políticas de estado en EU promovieron la generación de una agricultura para el mercado, en lugar de para el autoconsumo. Una agricultura con grandes excedentes, menos trabajo y una intensificación del uso de capital (Heffernan, 2000). La especialización es una característica del modelo industrializado con el que se desarrolló la agricultura para el mercado (Heffernan, 2000).

---

Las grandes escalas contribuyen significativamente a la capacidad de la agricultura nacional de los países para servir a los mercados internacionales (Altieri, 2000), por lo que hay fuerzas políticas y económicas que influyen para que se lleve a cabo cierto tipo de agricultura que involucra monocultivos, especialización, maquinaria, fertilizantes, agroquímicos y semillas mejoradas. Una caracterización muy breve y básica del capitalismo sería que se distingue por la existencia de una clase de productores directos que no tienen los medios de producción, por lo que se ven obligados a vender su fuerza de trabajo a la clase que sí tiene los medios de producción. Existe una tendencia a la acumulación y concentración del capital a través de la extracción por parte de los dueños del capital, del plusvalor generado por los productores directos (Magdoff & Foster, 2011). Como consecuencia, “la producción material toma la forma de producción de mercancías para el mercado con el objetivo de generar ganancia” (Magdoff & Foster, 2011), ya que los productores directos venden su fuerza de trabajo en la forma de mercancía y, al no tener acceso a los medios de producción para la reproducción de su vida, sólo pueden acceder a esta a través de comprar mercancías (Kloppenburger, 2004). Es por esto que la conversión de semillas en mercancías es una vía tan importante en la penetración del capital a la agricultura. En este sentido, el objetivo de la agricultura en el capitalismo no es la producción de alimentos sino de ganancia (Magdoff, et al., 2000), o en palabras de Levins “La agricultura no se trata de producir comida sino ganancia, la comida es un efecto secundario” (2010).

El final de la segunda guerra mundial dejó sin mercado a una gran producción de nitratos que se utilizaban en la fabricación de explosivos (Kloppenburger, 2004). La Revolución Verde fue en parte una respuesta a esta necesidad de abrir nuevos mercados en la forma de comercialización de fertilizantes de nitrógeno en México entre otros países, bajo el discurso del desarrollo. Sin embargo, “El desarrollo se trata de oportunidades de inversión y mercados, no de corregir décadas de saqueo y explotación” (Levins, 2010). Por otro lado, también el desarrollo del capitalismo llevó a una separación cada vez más fuerte entre el campo y la ciudad (Foster, 2000) y entre las operaciones que producían ganado y las que producían cultivo (Foster y Magdoff, 2000; Hefferman, 2000; Altieri 2000), lo cual generó una separación entre los espacios geográficos donde se consumían los nutrientes de las plantas y se generaban abonos orgánicos y los lugares donde se producían las plantas, por lo que ya no era económicamente factible regresar estos abonos orgánicos al suelo (Altieri, 2000). Esa disponibilidad de fertilizantes de nitrógeno permitió obviar la necesidad de regresar los residuos orgánicos al suelo: permitió la continuación de la especialización cada vez mayor de las granjas en cultivos

o ganado y los cultivos en monocultivos, ya que no se necesitó más de rotaciones con leguminosas u otras combinaciones que mantuvieran la fertilidad de los suelos (Altieri, 2000). En consecuencia, los suelos se han degradado ante la pérdida de materia orgánica y la disminución de biodiversidad. A su vez, esta falta de biodiversidad permite el florecimiento de poblaciones de patógenos y parásitos de los cultivos, que de otra forma estarían limitadas por la competencia entre organismos y sus enemigos naturales. Por consiguiente, aumentó la necesidad de pesticidas.

La especialización con monocultivos tiene consecuencias ecológicas para el suelo y el agroecosistema. Los ciclos de materia y energía se vuelven más abiertos, los nutrientes no se reintegran al sistema sino que se vuelven contaminación en otros lugares. Aumenta la vulnerabilidad a plagas y enfermedades, las grandes áreas de monocultivo son una concentración de recursos para insectos y otros organismos especializados en esos cultivos y al mismo tiempo esta simplificación y la consiguiente pérdida de biodiversidad y de materia orgánica reduce las posibilidades de que se encuentren enemigos naturales que controlen la población de organismos plagas (Altieri & Nicholls, 2002; Jonsson et al., 2012; Mailafiya, 2015). Además, algunos herbicidas utilizados en este tipo de agricultura como el glifosato, son tóxicos también para organismos depredadores que de otra forma ayudarían al control de poblaciones plagas, y para ciertos detritívoros como las lombrices (Altieri, 2000). Todo esto implica una “constante erosión de la base productiva de la agricultura mediante prácticas insostenibles” (Altieri, 2000).

Otra condicionante importante para el suelo dentro del sistema agrícola dominante es el fenómeno de la renta de los terrenos. A finales del siglo XX en EU, la tierra rentada representaba el 48% de los cultivos en general y el 75% del algodón (Foster y Magdoff 2000). La renta de la tierra implica enfoques a corto plazo ya que la racionalidad económica indica que el inquilino no va a invertir recursos, tiempo, ni trabajo en mejoras el suelo que no va a ver durante el tiempo de su contrato, y por el contrario debe extraer la máxima ganancia posible al suelo en el corto plazo sin importar las afectaciones en el plazo largo. Esto es completamente contrario a un enfoque verdaderamente racional y ecológicamente sostenible a la agricultura que requiere de planeación a largo plazo y de construcción de la fertilidad del suelo (Drinkwater, et al., 2017).

De esta manera podemos ver que las partes del suelo, en este caso la fertilidad del suelo, o la fertilidad de las partículas y puñados de suelo no están dadas de manera previa y fija antes de que entren al todo, sino que devienen en él. Están condicionadas por las diferentes prácticas

que a su vez están condicionadas por el sistema económico y los movimientos de fuerzas políticas y económicas a nivel global. Las propiedades de las partes del suelo como la agregación y la fertilidad no tienen una existencia *a priori*, sino que devienen al formar parte del todo que no se limita al ecosistema, sino que alcanza aspectos sociales y económicos.

El método dialéctico de Levins y Lewontin es útil para tratar el tema de la relación entre naturaleza y sociedad pues es capaz de ver la interpenetración entre categorías aparentemente separadas o dicotómicas. A diferencia de la ontología reduccionista, ve los diferentes niveles de organización como a la vez autónomos e interdependientes. Es decir, cada nivel de organización tiene sus propias dinámicas que no se comprenden a niveles inferiores. En el ejemplo que usa Steven Rose (1998) de la rana, la actina y miosina pueden reconstruirse en un tubo de ensayo y si se agrega ATP pueden contraerse como lo harían en el músculo. Sin embargo, esto no las convierte en un músculo contrayéndose ya que la funcionalidad que le da significado al músculo depende de una organización anatómica y ecológica que no está implícita en la bioquímica. La bioquímica de la actina y miosina no explican por qué la rana salta cuando ve una serpiente. En nuestro caso, la organización social de la producción agrícola no se entiende a nivel de genes o de átomos.

Por otro lado, los diferentes niveles de organización están al mismo tiempo interpenetrados. Como indica Dupré, lo que ocurre a niveles más altos da las condiciones para lo que ocurre a niveles más bajos y viceversa. De acuerdo con Levins y Lewontin (2007), en un modelo de la regulación del azúcar en el organismo comúnmente se utilizan variables fisiológicas: glucosa en sangre, insulina, adrenalina, etc. Pero hay otros factores involucrados que pertenecen a niveles de organización más altos y a otras disciplinas de conocimiento. Algunos pertenecen al dominio de la psicología y de las ciencias sociales como la ansiedad, el miedo, los horarios de trabajo, el racismo, la clase social, marginación, el acceso a comida de calidad, la violencia, el machismo, entre otros. Esta perspectiva busca las conexiones entre disciplinas que se suelen tomar como campos independientes y excluyentes, cómo las ciencias sociales y las ciencias naturales. A veces los patrones de algún aspecto biológico tienen su determinación en el nivel social de organización. Por ejemplo, puede parecer que el uso de fertilizantes minerales es simplemente una mala práctica debida a una falta de conocimiento técnico sobre sus consecuencias en el suelo. Sin embargo, si ampliamos el análisis, vemos que factores como los bajos precios de los alimentos y las malas condiciones de vida llevan a muchos jóvenes a abandonar sus lugares de origen para trabajar sea como jornaleros agrícolas o como obreros lejos de las parcelas campesinas. Esto genera un déficit de fuerza de trabajo en

el campo que a su vez hace que se dependa en un grado mayor de la mecanización. Ello trae consigo un reforzamiento de la dependencia de los agroquímicos, los cuales a su vez, al ser mercancías, exigen una fuerte monetización de la economía campesina que entonces debe buscar cultivos más rentables. La producción se convierte en producción de mercancías para el mercado. Esto trae como consecuencia biológica la escasez de materia orgánica en el suelo, en la medida en que disminuye el número de animales en el campo y se elimina la fertilización orgánica. La organización social da las condiciones materiales para el desarrollo biológico y viceversa.

## El suelo como construcción biosocial.

En el capítulo anterior se comenzaron a presentar algunos rasgos del suelo que nos permiten encuadrarlo desde la óptica de las ontologías procesuales. La intención de este capítulo es explicar el tipo de proceso particular al que quiero referirme al hablar del suelo, a saber, su característica biosocial. Cabe señalar que si bien muchos de los planteamientos que se harán en torno a la naturaleza del suelo son de orden general (es decir, que se refieren a todos los suelos) se enfatizará un poco más el estudio, análisis, pertinencia de estas ontologías tomando el eje de los suelos agrícolas. Ver el suelo como proceso nos permite comprender más profundamente las relaciones que lo constituyen en el tiempo. El suelo tiene características que lo hacen más afín a un análisis desde una ontología de procesos que desde la ontología de objetos. La más evidente de estas es que es dinámico, se encuentra en constante cambio, y de este cambio o actividad depende su posibilidad de continuar existiendo en el tiempo. El cambio es inevitable en la naturaleza pues constantemente están ocurriendo reacciones químicas, físicas e interacciones biológicas que desde adentro o desde afuera de un sistema, lo afectan. Sin embargo, el suelo se regenera de forma que continúa estando presente como suelo con capacidad de sustentar la vida, gracias a la actividad biológica.

Un segundo aspecto, el cual nos ayuda a observar Dupré, es que para considerar que algo es un objeto necesita tener límites definidos y que aquello que define dicho objeto se encuentre dentro de estos límites. De forma similar, también requieren tener cierta autonomía, no depender de algo externo para existir o para ser lo que son. De acuerdo con las tres posturas que revisamos, el mundo vivo no está hecho de objetos que tienen su forma y características principales ya dadas y permanecen fijas durante su vida, y cuyas interacciones con el mundo externo no las afectan de manera fundamental. Por el contrario, los organismos nos formamos en nuestras relaciones. Una ontología procesual permite comprender y dar cuenta de una manera más completa de estas relaciones, reconociendo su papel central.

Las diferentes características del suelo no están dadas y nunca están terminadas, sino que se forman en las relaciones y están constantemente transformándose. Por ejemplo, la fertilidad, definida como la disponibilidad de nutrientes para las plantas, se genera en el suelo a través de las relaciones entre los diferentes micro y macroorganismos que forman parte de las redes tróficas y los ciclos biogeoquímicos (Drinkwater, et al., 2017). Dichas relaciones están

mediadas a su vez por una estructura física del suelo que se mantiene, entre otras cosas por el flujo de materia orgánica hacia éste. Es decir, el suelo deviene fértil, entre otras, en las relaciones de los hongos saprófitos y las lombrices que descomponen los residuos orgánicos y los procariontes que mineralizan los compuestos de carbono ricos en nitrógeno y fósforo, así como los nemátodos que se alimentan de estos procariontes y excretan el nitrógeno en forma soluble. En un suelo agrícola el suelo deviene fértil o infértil en el manejo agrícola, es decir, las relaciones entre la acción humana (que es siempre social) y la actividad biológica. Las acciones humanas sobre el suelo tienen un efecto sobre los microorganismos. Por ejemplo, como vimos en el capítulo anterior, las comunidades de procariontes presentes en un suelo con manejo con policultivo, rotación, fertilización orgánica son muy diferentes a las que están presentes en un suelo con manejo convencional (monocultivo y utilización de insumos industriales) (Fuentes Ponce et al., 2016). De manera recíproca, la actividad de los organismos repercute sobre el estado del suelo para efectos agrícolas. Por ejemplo, un suelo con presencia de lombrices e insectos tiene un nivel de porosidad que le permite almacenar agua y así brindar protección contra la sequía a las plantas que en él se cultivan (Pimentel & Burgess, 2014). En un campo con manejo convencional, es decir, con fertilización mineral, el amonio y el nitrato así como el fósforo soluble llega al suelo a través de las relaciones sociales bajo las cuales se produce y transporta el fertilizante.

Mirar el suelo desde una perspectiva procesual nos permite reconocer sin obstáculos la integración de los diferentes niveles de organización. Lo biológico y lo social abarcan de manera general niveles de organización diferentes, como los genes y las rutas metabólicas por un lado y la división social del trabajo, la cultura y el conocimiento por otro. Desde una perspectiva de objetos se ha caído varias veces en la trampa de pensar que las características y propiedades de niveles de organización altos vienen de los niveles de organización más bajos, dentro de la lógica general de que las cosas más grandes están hechas de las cosas más pequeñas. La perspectiva de procesos permite evitar del todo esta trampa (Dupré y Nicholson, 2018), pues se observa en primer plano la dinámica, el movimiento generado por las relaciones. Se reconoce como primordial el cambio, y por lo tanto el cambio que generan en los procesos, otros procesos a diferente escala. En el caso del suelo, y de manera especialmente clara en el suelo agrícola, la causalidad entre factores a niveles de organización sociales y biológicos es recíproca porque procesos localizados tanto en lo biológico como en lo social dan las condiciones para procesos en el otro, en un continuo intercambio entre el sujeto y el objeto.

Sin embargo, aquello social con lo que está interpenetrado lo biológico en el devenir del suelo, no es social en abstracto, sino que es una forma específica de organización social que afecta el suelo de maneras específicas. La forma particular de lo social condiciona el devenir del suelo de maneras concretas. No podemos entender la interacción de la sociedad con la naturaleza, ni cómo afecta los sistemas biológicos sin entender estas formas particulares de lo social. La interpretación contemporánea de los trabajos de Karl Marx realizada por John Bellamy Foster (2000), Fred Magdoff y sus colaboradores (2009), así como Kohei Saito (2017), nos proporciona una herramienta para analizar precisamente la manera en que las formas concretas actuales de la organización social interactúan con los aspectos biológicos del suelo. En este capítulo se intentará construir un diálogo entre las tres ontologías que expusimos en el capítulo anterior y la perspectiva ecosocialista de Foster y colaboradores. Haremos especial énfasis en los aspectos en los que la interpretación del metabolismo sociedad-naturaleza en Marx, pueden dialogar o ser inteligibles y complementarios con las ontologías procesuales. Cabe mencionar que dos de los autores que hemos revisado en la sección de ontología procesuales, a saber, Levins y Lewontin, también trabajaron desde el marxismo e hicieron algunas aportaciones desde la biología a la comprensión de la relación sociedad-naturaleza. Trajeron a la esfera de las ontologías procesuales, una propuesta no reduccionista para entender la relación entre biología y sociedad.

Algo que la dialéctica marxista aporta al estudio de la relación sociedad-naturaleza es que al priorizar el movimiento no toma como estáticas ni ahistóricas las formaciones sociales que se nos presentan, sino que las reconoce como un desarrollo histórico. Explícitamente analiza las relaciones socio-naturales actuales como propias del capitalismo en lugar de naturalizarlas como la relación entre la humanidad y la naturaleza en abstracto. En conferencia en el Vam Leer Jerusalem Institute en marzo del 2019 Dupré habla sobre la importancia de una visión procesual del suelo y señala que "Una de las cosas que probablemente nos matarán a todos, es el hecho de que las personas no entendemos al suelo como un proceso" (Dupré, 2019). Quizá, una cosa que todavía la dialéctica marxista puede aportar a la propuesta de Dupré es el reconocimiento de que no se trata de "las personas" en abstracto, sino de una forma de organización específica de las relaciones sociales. La relación de "la humanidad" con "la naturaleza", incluyendo, en este caso, cómo esta última se entiende y se conceptualiza, está mediada por dichas relaciones sociales.

Cuando se habla de que "la humanidad" en abstracto está destruyendo el planeta, se pasa por alto que por ejemplo, los pueblos originarios componen el 5% de la población mundial pero

conservan un tercio de los bosques del mundo y en sus territorios existe el 80% de la biodiversidad del planeta, de acuerdo con la FAO (<https://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/1028079/>, 26/1/22). Cada forma de organización de la producción y reproducción social conlleva ciertas acciones y prácticas con respecto a eso que llamamos recursos naturales. Por ejemplo, en el capitalismo la producción no está en función de los valores de uso que satisfagan las necesidades de la población y permitan su reproducción, sino de los valores de cambio que generen una ganancia para los capitalistas. Por esta razón no hay un límite racional a la extracción de materiales y a la saturación de la capacidad de la atmósfera, el mar, y los diferentes sistemas planetarios de absorber contaminantes, sin que representen una amenaza para la continuidad del ecosistema en cuestión. Es por esto que la categoría de “humanidad” en abstracto es muy limitada para comprender la relación sociedad-naturaleza ni las causas del deterioro ambiental. De acuerdo con David Harvey “Todo examen crítico de la relación [humana] con la naturaleza es simultáneamente un examen crítico de la sociedad” (David Harvey citado por Royle, 2018).

### **La semilla y la mercancía: La relación del humano con la naturaleza se ve ahora mediada por el capital**

Retomando la cita de Dupré, quizá un factor que juegue un papel en el hecho de que el suelo no se entienda como proceso es que el conceptualizarlo como objeto facilita convertirlo en mercancía y recíprocamente, el hecho de que algo exista como mercancía hace más intuitivo el verlo como objeto que como proceso. Neil Smith (Royle, 2018) señala que dentro del capitalismo hay muchos aspectos de la naturaleza que ya no pueden comprenderse de manera independiente a este. Esto se debe a que la naturaleza entra en las lógicas del capital al ser convertida en mercancía y el capital está constantemente en la búsqueda de convertir más aspectos de la vida en mercancía, como fue el caso de las semillas que se mencionó en el capítulo pasado. De acuerdo con Camila Royle “En este proceso, la naturaleza producida toma algunas características del capital” (2018). Esto se observa en el caso de las semillas, pues al convertirse en mercancías patentadas se dejan de ver como un momento o un nodo en el proceso que es el ciclo de vida y reproducción de la planta, las trayectorias evolutivas y de domesticación, nodo que inevitablemente ocurre en la relación con otros procesos biológicos y culturales. Pasa a verse como un objeto bien delimitado y autónomo que yace libre de esas conexiones y por lo tanto puede ser propiedad de una empresa y puede ser vendida y comprada. Uno de los argumentos de Dupré para optar por una ontología procesual en biología son los ciclos de vida, ya que cuando los observamos completos y no como estadios aislados, nos

damos cuenta de que morfológicamente los organismos no somos constantes, sino que pasamos de una forma a otra durante nuestra vida, por lo que la forma no nos sirve como criterio para considerar que un organismo sigue siendo el mismo objeto durante toda su vida. “Sabendo lo que sabemos acerca de las ranas, simplemente tiene más sentido pensar en ellas como procesos que como cosas” (Dupré y Nicholson, 2018). Como sabemos, las plantas cultivadas tienen un ciclo de vida que pasa de semilla, por diferentes estadios de desarrollo a la planta madura que vuelve a generar la semilla de la cual comienza un nuevo ciclo de vida. Este hecho ha sido uno de los principales obstáculos a la penetración del capital en la agricultura (Kloppenburger, 2004) ya que el productor agrícola (campesino) tradicionalmente era capaz de regenerar este medio de producción por lo que no requería volver al mercado para adquirirlo nuevamente. Esta doble vida de la semilla como producto y como medio de producción la hace ser “inestable” como mercancía (Kloppenburger, 2004). Consideramos que esto se debe a que para que algo sea una mercancía necesita ser un objeto, sin embargo, como sostiene Dupré, el mundo biológico es comprendido mejor como procesos. De acuerdo con Dupré los procesos, a diferencia de los objetos, no tienen límites definidos. Tener límites definidos es necesario para que algo exista en la forma de mercancía y esta ha sido la dificultad para subsumir a la semilla a la forma de mercancía.

Una de las vías que encontró el capital para rodear la dificultad de penetrar en la agricultura, fue el desarrollo de las semillas híbridas (Kloppenburger, 2004). Estas semillas se convierten en mercancía porque el rendimiento de las semillas cosechadas de una planta híbrida no es tan alto como el de las que se obtienen en el mercado. Así se separa la semilla del grano, el medio de producción del producto. Sin embargo, para la obtención de las semillas híbridas en el laboratorio de las empresas, cuyas oficinas centrales por lo general se encuentran en los países llamados desarrollados, experimentan con el germoplasma que colectan en las regiones llamadas subdesarrolladas (Kloppenburger, 2004). Ese germoplasma es a su vez también un momento en los procesos de domesticación que llevan a cabo los pueblos en dichas latitudes.

La existencia de estos cultivares o semillas mejoradas sería imposible sin la agrobiodiversidad previamente generada por las comunidades campesinas. Pero la primera forma en la que aparece la enajenación en ellas estriba justamente en el ocultamiento respecto a su origen: para emprender el proceso de fitomejoramiento, el aparato tecno-científico requiere de la variación acumulada, ordenada por el trabajo de las comunidades campesinas a las que tanto se desprecia y despoja (Jardón, 2019)

Si la semilla se reconociera como proceso en estos términos tampoco podría convertirse en mercancía porque como afirma Ingold, los organismos devenimos en relación. Tendrían que reconocerse las relaciones dentro y a través de las cuales deviene la semilla, es decir, de nuevo la semilla al ser proceso, no tiene límites bien definidos. Frente a esto, al comprender a la semilla como proceso tendríamos que reconocer que sólo existe en la relación con dichos pueblos y no podría presentarles como algo externo a ellos que deben comprar.

De acuerdo con Marx, la condición histórica necesaria para el desarrollo del capitalismo fue la separación del humano con la tierra en cuanto a separación del trabajador con el medio necesario para su trabajo (Saito, 2017; Foster, 2000; Kloppenburg, 2004). Mediante los cercamientos que ocurrieron en Europa y en particular en Inglaterra gradualmente entre los s. XV y XVIII, una gran cantidad de campesinos fueron separados de la tierra por medio de la fuerza física u otras formas coercitivas (Federici, 2004; Foster, 2000; Kloppenburg, 2004). Esto forma parte de lo que se conoce como acumulación originaria. Dichos trabajadores se vieron desposeídos de las condiciones objetivas para realizar su trabajo al perder el acceso a la tierra y quedaron con su fuerza de trabajo como única mercancía que intercambiar en el mercado. De esta manera se origina la clase proletaria, una clase compuesta por trabajadores cuyo único medio para reproducir su vida es vender su fuerza de trabajo a un capitalista que sí es dueño del medio de producción. Esto es lo que se conoce en la teoría marxista como alienación de la naturaleza, ya que el humano queda alienado de la naturaleza como medio por el cual antes lograba obtener su sustento al aplicar trabajo, como en el caso del cultivo de la tierra. La alienación de la naturaleza es un requisito para el desarrollo del capitalismo ya que sin esta los seres humanos permanecerían unidos a la tierra, su medio de producción, y no necesitarían vender su fuerza de trabajo en el mercado o no sería su única fuente de supervivencia.

La exclusión total de la riqueza objetiva es la característica esencial de la situación de los trabajadores bajo el modo capitalista de producción, y la alienación de la naturaleza es su causa fundamental (Saito, 2017).

La conversión de semillas en mercancía mediante las patentes o semillas híbridas, constituyen una forma de alienación de la naturaleza. Los productores en lugar de mantener su unión “íntima” con ese elemento natural que es parte de los medios necesarios para su trabajo, se ven alienados de él, y deben confrontarlo como un objeto externo, extraño.

Durante el siglo pasado la agricultura ha pasado de ser un proceso de producción mayormente autosuficiente a uno en el que la mayor parte de los recursos

empleados son comprados. Esta transformación ha sido, en esencia, un proceso de acumulación primitiva caracterizado por la separación progresiva del agricultor con ciertos (aunque no todos) los medios de producción agrícola (semilla, forraje, combustible, fuerza motriz), que ahora lo confrontan como mercancías (Kloppenburger, 2004).

La acumulación originaria nunca está terminada porque el capitalismo necesita estar constantemente trayendo nuevas esferas de la vida a la forma de mercancía (Kloppenburger, 2004;). Esta alienación de la naturaleza que se encuentra en los cimientos del sistema capitalista significó una transformación en la relación sociedad-naturaleza. La relación del humano con la naturaleza se ve ahora mediada por el capital, ya que este la apropia. Como consecuencia, la producción ya no es para la satisfacción de necesidades humanas mediante valores de uso, sino para la generación de ganancia mediante valores de cambio.

Cuando la tierra se convierte en mercancía, la relación entre los humanos y la tierra se ve modificada y reorganizada radicalmente en aras de producir riqueza capitalista. Después de la universalización de la forma mercancía a través de la sociedad, la producción no está ya dirigida a satisfacer necesidades personales concretas, sino únicamente a la valorización del capital (Saito, 2017).

Como se mencionó, esta alienación de la naturaleza también significa la imposición de la forma mercancía, ya que ahora esta es la forma en que se puede acceder a las cosas necesarias para la reproducción de la vida como alimento y ropa. Es decir, las personas ya no tienen esa relación directa con la tierra, la naturaleza que les permite obtener de ella su sustento. Ahora la única manera de obtenerlo es a través del mercado y en la forma de mercancías. Una mercancía es un producto que se genera para el intercambio y no porque al productor le interese directamente su valor de uso (Kloppenburger, 2004). Se le presenta a quien la consume como un objeto cerrado sobre sí mismo, sin conexiones ni relaciones a su proceso de producción, ni a su historia. Sin relación con quien lo produjo. En cambio, en las condiciones de producción no capitalistas, que no están dominadas por la forma mercancía y en la cual el ser humano tenía acceso directo a la tierra como medio de producción, este experimentaba todo el proceso de cultivo y se encontraba inmerso en las relaciones propias del suelo como proceso. Esto involucra relaciones con otros organismos, así como con otras personas y también relaciones con condiciones abióticas como el clima. En este cambio se observa de nuevo esta dicotomía entre objeto y proceso. Por supuesto no es verdad que las mercancías no sean procesuales, tanto lo son que

Marx las utilizó como la primera unidad de análisis en el *Capital* (Saito, 2017; Osborne, 2005; Kloppenborg, 2004; Echeverría, 1998). Sin embargo, debido al fenómeno que Marx describió como el fetichismo de la mercancía, su apariencia es la de un objeto con valor inherente independiente del proceso de trabajo y de producción, y de las relaciones sociales en las que se generan (Saito, 2017; Osborne, 2005) y podemos añadir también las relaciones naturales o biológicas. Es decir, la mercancía aparece como un objeto y esconde el proceso.

Metabolismo sociedad-naturaleza es el término que Marx utiliza para referirse dentro de su teoría a la relación entre la sociedad y la naturaleza. Esto se debe a que el término de metabolismo se utiliza para hablar del intercambio de materia y energía entre los organismos y su medio, que el organismo regula, y a partir del cual es posible la vida y el crecimiento.

Desde la década de 1849 y hasta el presente, el concepto de metabolismo ha sido utilizado como una categoría clave en la aproximación de la teoría de sistemas a la interacción de los organismos con sus ambientes. Captura el complejo proceso bioquímico de intercambio metabólico, mediante el cual un organismo (o una célula) toma materiales y energía de su ambiente y los convierte mediante diversas reacciones metabólicas en bloques de crecimiento. Además, el concepto de metabolismo se utiliza para referirse a los procesos regulatorios específicos que gobiernan este complejo intercambio entre los organismos y sus ambientes. (Foster, 2000).

De acuerdo con Marx, hay dos aspectos en el metabolismo sociedad-naturaleza, uno transhistórico que es la necesidad que tienen las sociedades humanas de tomar materiales de su entorno (la naturaleza) y convertirlos en formas que le son útiles para continuar su existencia (valores de uso). Esta es una necesidad que siempre está con la humanidad independientemente de la organización social específica. El metabolismo sociedad-naturaleza siempre está regulado por la producción y el trabajo, ya que mediante estas actividades es que se toman y transforman los materiales para satisfacer necesidades humanas y se generan desperdicios. Marx define al proceso de trabajo como “Un proceso entre el hombre y la naturaleza, un proceso mediante el cual el hombre, a través de sus acciones regula el metabolismo entre él y la naturaleza” (Marx, 1976). El metabolismo se refiere a la interdependencia entre naturaleza y seres humanos que éstos median a través de su trabajo, transformando los materiales de la naturaleza en formas que puede utilizar para mantenerse con vida como alimento, herramientas, ropa y vivienda.

Esta relación involucra condiciones impuestas por la naturaleza y también la capacidad humana de transformar su entorno.

El otro aspecto del metabolismo sociedad-naturaleza es histórico ya que es la manera en la que cada sociedad en específico organiza la producción, es decir la forma en que cada sociedad toma y da materiales y energía al entorno. En la sociedad concreta en la que existimos, el modo capitalista modifica este metabolismo naturaleza-sociedad que es una necesidad transhistórica. Lo que el marxismo de Saito y Foster aún puede aportar a las ontologías procesuales actuales en cuanto al estudio de la relación sociedad-naturaleza es el análisis de la forma en que el capitalismo modifica esta relación.

Otra necesidad transhistórica que tienen en común todas las sociedades es la de distribuir el trabajo disponible, que siempre es finito, de tal manera que genere la producción necesaria para que la sociedad pueda reproducirse. En sociedades no capitalistas dicha distribución del trabajo podría hacerse previa a la producción, es decir planear el trabajo que se tenía que hacer y después hacerlo (Echeverría, 1998; Saito, 2017). Sin embargo, Marx señala que en una sociedad en la que la forma mercancía es dominante, esta distribución previa a la producción no se lleva a cabo ya que cada productor trabaja de manera aislada y el único momento de contacto entre ellos es en el intercambio comercial de las mercancías. El criterio para este intercambio es el valor (que se expresa como valor de cambio), por lo que este se vuelve el único criterio para la producción ya que el precio en el mercado es la única información que los productores tienen para guiar su producción. Al mismo tiempo, a pesar de que el valor de uso es necesario para conformar una mercancía, la mercancía sólo puede realizar su valor de uso si se logra intercambiar en el mercado.

Las cosas son producidas y consumidas en la sociedad mercantil pura, no de acuerdo a un determinado plan, siguiendo un determinado proyecto, u obedeciendo a una determinada necesidad, sino que son producidas de acuerdo a la casualidad; son producidas porque en el momento anterior del mercado demostraron un comportamiento más o menos bueno en tanto que productos mercantiles. Si se vendieron bien entonces, ahora esas cosas se producirán en mayor cantidad; pero si no se vendieron bien, entonces deberán alterarse cuantitativa y/o cualitativamente: su presencia objetiva sigue un destino completamente azaroso (Echeverría, 1998).

Es importante señalar que este mecanismo antecede al capitalismo propiamente dicho y tiene que ver con lo que Marx denomina “mercancías simples”. Para Marx, lo peculiar de estas

mercancías es que, si bien ya dependen de un sujeto social sustitutivo (el mercado) para el productor le ciclo mercancía-dinero-otra mercancía, comienza y termina con la posesión de valores de uso diferentes.

Con el desarrollo del capital, el valor se vuelve, no sólo el criterio del intercambio sino el objetivo de la producción: generar plusvalor para la acumulación. De esta manera cada acto de producción y consumo que se lleva a cabo en nuestra sociedad para reproducir la vida de las personas no puede existir si no cumple al mismo tiempo con sostener otro proceso, ajeno a este, que es el proceso de acumulación de capital. Así, el ciclo de la mercancía específicamente capitalista comienza y termina, para quienes detentan su control (la burguesía) con dinero: dinero-mercancía- dinero incrementado. El valor de uso del objeto útil que se intercambia (es decir de la mercancía) se ha vuelto una mediación del proceso de acumulación de dinero.

El absurdo básico de la vida moderna está en que los seres humanos sólo pueden producir y consumir bienes, crear riqueza y gozarla o disfrutarla, es decir, sólo están en capacidad de autorreproducirse, en la medida en que el proceso de producción y consumo de sus bienes sirve de soporte a otro proceso diferente que se le sobrepone y al que Marx denomina “proceso de valorización del valor” o “acumulación de capital” (Bolívar Echeverría, 1998).

Un ejemplo en el que esto se expresa de manera extrema son los productos que se tiran al mar o se destruyen de alguna otra manera para evitar su consumo, con el objetivo de que el precio de este tipo de producto no baje (Bolívar Echeverría, 1998). Como el consumo de esos productos no sustentaría el proceso de acumulación de capital, a estos productos no se les permite pasar a su función de valor de uso, cumpliendo su papel en la reproducción de la vida social. Un ejemplo es lo que hace la empresa Amazon con el inventario que no se vende, que es simplemente triturarlo y tirarlo a la basura debido a que eso es menos costoso que seguir almacenándolo (Pallot, 2022).

Todas estas características del capitalismo alteran el metabolismo naturaleza-sociedad porque este ya no está regulado de acuerdo a la racionalidad de la reproducción social, sino de acuerdo a la lógica reificada (ajena) de la acumulación de capital. Por un lado, el capital no considera dentro de sus fórmulas de reproducción el impacto ambiental de la extracción y desechos como un costo (debido a que en ellas sólo se considera el valor), por lo cual el capital siempre va a estar buscando mayor acceso a materias primas. Por otro lado, el objetivo de la producción es la generación de ganancia para el capitalista, un parámetro cuantitativo que no conoce límites,

a diferencia de la satisfacción de necesidades concretas cualitativas de la población que necesariamente son finitas (Echeverría, 1998 ; Foster, 2000; Saitō, 2017). Y por último, pero de manera relacionada, el hecho de que el proceso de reproducción social esté subordinado al proceso de acumulación del capital modifica de formas particulares el metabolismo naturaleza-sociedad, como en el ejemplo de los objetos que son destruidos. Es decir, ya no es que la satisfacción de necesidades humanas sea un efecto secundario de la acumulación de capital, sino que los productos que son destruidos ni siquiera llegan a funcionar como satisfactores de dichas necesidades, pero sí tienen un impacto ambiental tanto en su producción como en su desecho.

### **Metabolismo naturaleza-sociedad y la construcción biosocial del suelo**

Uno de los fundamentos para que Marx generara su teoría del metabolismo naturaleza-sociedad y la ruptura de dicho metabolismo que posteriormente fue retomada por marxistas contemporáneos como Foster y Saito, fue su estudio del suelo. Marx observó que el capitalismo rompe los ciclos de nutrientes que son necesarios para la restauración de la fertilidad del suelo. Esto lo hace con la exportación y comercio a largas distancias de los productos agrícolas. Los nutrientes que salen de la tierra en forma de alimento o fibras textiles se mueven del campo a la ciudad y no regresan al suelo en forma de abono. Esto es la consecuencia de la separación entre productor y consumidor y por tanto, la creciente separación entre la ciudad y el campo. Los elementos constitutivos del suelo y que son necesarios para su fertilidad se movían de esta forma del campo a la ciudad para alimentar el desarrollo industrial. La pérdida de fertilidad del suelo fue muy palpable en el tiempo de Marx, en fenómenos como el imperialismo del guano. Un proceso en el cual Inglaterra y Estados Unidos anexaron territorios alrededor del mundo de donde extraían guano de aves para fertilizar sus campos (Foster, 2000; Magdoff et al., 2000).

Marx desarrolló una visión histórica del suelo de acuerdo con la cual la fertilidad del suelo no está dada de manera natural y estática, sino que puede ser mejorada o destruida dependiendo de las prácticas agrícolas. Sin embargo, considero que la metáfora de metabolismo naturaleza-sociedad tiene limitaciones para ilustrar esta característica del suelo de ser construido en la interacción de lo biológico con lo social. En este sentido, las visiones procesuales presentadas en el capítulo anterior, en particular la de Ingold, pueden complementarla, al profundizar en la forma en que el suelo deviene en la relación de “lo social” con “lo biológico”.

De acuerdo con Foster y sus colaboradores, la ruptura metabólica es una fractura que Marx considera irreparable, que emergió en este metabolismo como resultado de las relaciones capitalistas de producción. Se trata del alejamiento de los humanos con las condiciones materiales que permiten nuestra existencia. “Para cuando Marx escribió el capital en 1860, ya estaba convencido de la naturaleza insostenible de la agricultura capitalista” (Foster, 2000). Reconozco que es importante el énfasis que ellos hacen en el concepto de ruptura metabólica para mostrar que ya existía un núcleo ecológico en Marx. Sin embargo, considero que la metáfora de ruptura metabólica se acerca por momentos a la idea de un equilibrio que debe restablecerse entre la dicotomía de la naturaleza y la sociedad.

Ella subestima la tenacidad del capitalismo porque, como Marx enfatiza repetidamente, hay un “poder elástico del capital” con el que puede reaccionar a *la digresión del metabolismo social-natural de su equilibrio ideal* (Saito, 2017 cursivas mías).

Levins y Lewontin (1985, 2007) señalan que en la biología y en las ciencias en general se pasó de un énfasis en el cambio a un énfasis en el equilibrio cuando la ideología burguesa pasó por ese mismo cambio. Al instaurarse la ideología liberal afirmó que lo natural era el cambio, como el cambio de las especies en la evolución, por lo cual las relaciones fijas del feudalismo y la nobleza eran antinaturales. En cambio, cuando las revoluciones burguesas triunfaron, la ideología tuvo que hacer énfasis en que el cambio llegaría a un “equilibrio”. El equilibrio en el que se encuentra el capitalismo, que es al que se llega naturalmente, así como los sistemas dinámicos llegan a un equilibrio al recorrer sus variables la cuenca de atracción.

El énfasis en la diversidad, la complejidad y la estabilidad como tendencias en la evolución sólo puede entenderse como ideológicas en su origen. Mientras que el cambio y el movimiento fueron los temas intelectuales de la revolución burguesa, como una legitimación del derrocamiento de las viejas relaciones de clase, la consolidación de esa revolución al final del siglo XIX y en el XX ha requerido una visión diferente, acorde con la nueva sociedad estabilizada. El cambio debía ser domado en la ciencia como lo fue en la sociedad. El resultado es el énfasis de las nuevas teorías evolutivas en el equilibrio dinámico (Levins y Lewontin, 1985).

En cambio, la dialéctica es un pensamiento que concibe la realidad como siempre cambiante y transformándose por sus contradicciones internas y externas. También señalan que el pensamiento ideológico del equilibrio, al enfrentarse con la realidad siempre cambiante,

contingente y que no presenta límites claros que delimiten lo interno de lo externo, tiene una tendencia que presenta a la acción humana como perturbadora de la naturaleza:

La sociedad humana tecnológica, perturbando el mundo natural fuera de su estado normal de armonía y equilibrio, se vuelve la externalidad. En una transformación de la cantidad en cualidad, lo que fue en sus primeras etapas de evolución sólo otra parte del todo equilibrado, escapa a otra esfera de acción y se vuelve un actor autónomo dominando y explotando en resto de la naturaleza desde fuera (Levins y Lewontin, 2007).

Por esta razón creo que la noción de equilibrio implícita en la idea de ruptura metabólica no es plenamente congruente con la dialéctica y que podemos buscar otras posibilidades. Considero que la perspectiva de los devenires biosociales (Ingold, 2013) nos permite aprehender de forma más completa esta relación naturaleza-sociedad y la manera en que el suelo deviene en ella.

Como se trabajó en el capítulo anterior, la propuesta de Ingold se puede aplicar al análisis del suelo. El suelo también deviene en relación. Sus características físicas, químicas y biológicas no están dadas y no permanecen inmutables, sino que se transforman dentro de las relaciones en las que el suelo existe. Estas relaciones van de lo microscópico a lo planetario y provienen de los niveles de organización considerados tanto “biológicos” o “naturales” como “sociales”. Por ejemplo, como analizó en el capítulo anterior, la sustitución de fertilización con materia orgánica por fertilización mineral, que es un fenómeno a nivel social, cambia las condiciones para organismos como las lombrices impidiendo su presencia (Magdoff & Van Es, 2009; Sultan, 2015). Esto es por el hecho de disminuir sus fuentes de alimento, y por disminuir la agregación del suelo, a través de la falta de descomposición de materia orgánica que produzca materiales adhesivos, lo que a su vez causa compactación (Magdoff & Van Es, 2009). Esta compactación también les impide estar presentes ya que les causa deshidratación. La falta de lombrices a su vez genera más compactación. La ausencia de estos animales que es un fenómeno en el nivel “natural” a su vez cambia las condiciones para la agricultura, por ejemplo, al aumentar la necesidad de labranza, o al perder el suelo capacidad de almacenamiento de agua por perder porosidad. En estas relaciones el suelo deviene, cambia y se transforma, o también podríamos decir que se construye. De esta manera, el suelo es el resultado, pero no como objeto sino como proceso siempre incompleto, del tejido de muy diversas relaciones que provienen de “lo natural” y “lo social”. Este último, como vimos, incluye la formación social histórica específica que estamos viviendo, a saber, el capitalismo.

Las relaciones sociales capitalistas permean por diferentes vías hasta reorganizar y reestructurar las condiciones biológicas de su propia existencia. De acuerdo con el análisis de los regímenes alimenticios (Garrapa, 2017), actualmente vivimos un proceso en el que son las grandes marcas de supermercados las que tienen el poder de determinar cómo se realizan las cosas a lo largo de toda la cadena de distribución de alimentos hasta la producción. Los productores se ven obligados a cumplir con las condiciones de estos supermercados si han de mantenerse en el mercado. Estas condiciones consisten principalmente en la producción a gran escala durante todo el año. Como señala Altieri (2000) esta producción a escala conlleva prácticas agrícolas específicas, en especial el monocultivo y la fertilización mineral, además de planeación a corto plazo. De esta manera la organización social y económica, da las condiciones para que el devenir del suelo se desarrolle de cierta manera. Como afirma Ingold, el devenir es “biológico hasta arriba y social hasta abajo”.

Como señalamos en la introducción, utilizamos el término “construcción” abrevando de la visión de Susan Oyama. Así como el organismo no está previamente especificado en los genes, sino que se construye durante el desarrollo, el suelo tampoco está ya dado, sino que se construye en la relación de lo biológico y lo social.

Apoyándose en los trabajos de Justus Von Liebig, *Organic Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology*, y James Anderson, *A Calm Investigation of the Circumstances that have Led to the Present Scarcity of Grain in Britain*, Marx sostuvo que las propiedades de fertilidad del suelo no están dadas de manera fija por la naturaleza (Foster, 2000). Esta aseveración se contraponía a la posición de Thomas Malthus y David Ricardo que consideraban el suelo de manera ahistórica, estática y esencialista. Por el contrario, Andersen, Liebig y Marx consideraban al suelo como un producto histórico y social, debido a que diferentes prácticas pueden mejorar la fertilidad del suelo, o, por el contrario, degradarlo.

Para Malthus y Ricardo, que escribieron décadas después [de Anderson], la fuente de toda esta fertilidad diferencial era vista casi enteramente en términos de las condiciones de productividad natural independiente de los seres humanos. Como escribió Ricardo, la renta puede definirse como “la proporción de la producción de la tierra, el cual se paga al terrateniente por el uso de los *poderes originales e indestructibles del suelo*.” (...) En contraste, el modelo de Anderson, que era anterior, le atribuía la existencia de renta diferencial a *cambios históricos en la fertilidad del suelo, y no a condiciones de “fertilidad absoluta*.” El suelo podía

mejorarse continuamente a través de abono, drenaje e irrigación, y la productividad de la tierra menos fértil podía elevarse a un punto mucho más cercano al de la tierra más fértil; sin embargo, lo opuesto también es cierto, los seres humanos pueden degradar el suelo. (...) De acuerdo con Anderson, las fallas en el mejoramiento del suelo ocurrían como consecuencia de no adoptar prácticas agrícolas racionales y sustentables (Foster, 2000. *Cursivas mías*).

Anderson ilustra el punto con el ejemplo que él señala como uno de los principales obstáculos para una agricultura racional y sustentable en Inglaterra. Se trata de la forma en la que la producción agrícola estaba organizada, con terratenientes que rentaban la tierra a agricultores capitalistas. Estos no invertían en mejorar el suelo porque no iban a ver los beneficios en el tiempo del contrato. Otra razón que Anderson señalaba para la pérdida de fertilidad en los suelos era la creciente separación entre la ciudad y el campo, puesto que las heces fecales ya no se reintegraban al suelo, sino que pasaban a contaminar el río Támesis. Al final de su vida, Anderson fue uno de los principales críticos de la postura malthusiana acerca de la sobrepoblación, ya que, con el análisis de Anderson, la escasez de comida no se explica solamente por sobrepoblación, sino por la degradación de suelo. La idea de construcción biosocial del suelo ayuda a dar cuenta de este proceso en el cual los seres humanos en sociedad participamos en la construcción del suelo junto con los procesos biológicos y tenemos la capacidad de incidir teleológicamente en él para construir un suelo acorde a nuestras necesidades.

Marx construyó su crítica a Malthus sobre las aportaciones de Anderson. Señaló entre otras cosas, que cuando hay sobrepoblación y escasez, estas son específicas de cada sociedad y de la forma en que cada sociedad media el acceso a los recursos para los individuos, y no de “relaciones numéricas abstractas” (Foster, 2000). Marx señaló como una de las principales causas de degradación del suelo, la creciente división entre campo y ciudad, por el hecho de que los nutrientes que salen del campo en forma de alimento no regresan en forma de abono.

Poco menos de dos siglos después, estas observaciones siguen siendo vigentes y relevantes. Hoy sabemos que los suelos pueden mejorarse o por el contrario degradarse por la acción humana (Magdoff & Van Es, 2009). Y la pérdida de materia orgánica en los suelos cultivados es, de hecho, una de las principales causas de su degradación. La materia orgánica tiene un efecto mayúsculo en casi todas las propiedades del suelo y es parte crítica de los ciclos de nutrientes tanto regionales como globales. La materia orgánica es la base para un suelo sano,

el cuál es fundamental para la producción agrícola (Magdoff & Van Es, 2009). Entender el papel de la materia orgánica es esencial para lograr prácticas agrícolas racionales y sustentables. Cuando falta materia orgánica los suelos presentan problemas de fertilidad, infiltración y retención de agua, erosión, compactación y pestes. Esto crea la necesidad de aplicar más fertilizantes químicos, irrigación, pesticidas y maquinaria para lograr una cosecha.

Así, viendo estos hechos desde la perspectiva de la construcción biosocial, el suelo deviene dentro de las relaciones que provienen de lo social como las formas económicas que favorecen mediante la renta del suelo en el contexto capitalista, un enfoque a corto plazo del manejo. También impiden la reintegración de los nutrientes al suelo, algo a lo que en la actualidad suele referirse como “cerrar los ciclos”, por el movimiento de los nutrientes de las zonas rurales a zonas urbanas y también la exportación a otros países de los cultivos. El suelo también deviene en las relaciones localizadas en lo biológico, como los microorganismos que mueven los nutrientes a través de sus ciclos biogeoquímicos, como se desarrolló en el primer capítulo, y que son favorecidos o no por las prácticas que a su vez son determinadas por el modelo económico. También en las relaciones con los organismos que al degradar o no la materia orgánica mejoran o no la estructura del suelo, dependiendo de la presencia de esta materia orgánica que a su vez está determinada por el manejo. A través de todo este entramado de relaciones, los seres humanos, mediados por supuesto por las formas sociales, participamos en la construcción de suelos con muy diferentes características.

La materia orgánica del suelo se compone de tres tipos o fracciones y cada uno juega un papel fundamental en el suelo. Estos son: los residuos frescos, los residuos descompuestos y los seres vivos. Los residuos frescos se componen de organismos muertos recientemente, raíces viejas, residuos de cosechas y abonos recientes. Esta es la fracción activa del suelo ya que su descomposición es rápida al alimentarse de ella los organismos. Constituye la principal fuente de subsistencia de varios organismos del suelo, como microorganismos, lombrices y algunos insectos. Al descomponerse, esta fracción activa de la materia orgánica del suelo libera nutrientes que las plantas necesitan. También ayuda a la estructura del suelo porque en su descomposición se producen compuestos químicos pegajosos que mantienen unidas las partículas del suelo (Magdoff & Van Es, 2009). A esta propiedad se le llama agregación, y es fundamental para que el suelo pueda sustentar la vida. La agregación permite que existan poros de diferentes tamaños que permitan la infiltración y retención de agua en el suelo, el intercambio gaseoso y el crecimiento de raíces y actividad de otros organismos. Sin la agregación, el suelo se compacta impidiendo estos importantes procesos para el cultivo.

Además, la agregación protege el suelo contra la erosión por agua y viento, ya que las partículas de suelo están pegadas unas con otras (Magdoff & Van Es, 2009).

A los residuos descompuestos a veces se les llama humus (Magdoff & Van Es, 2009) o fracción estable (Drinkwater, et al., 2017). Este tipo de materia orgánica es muy estable y compleja. Se encuentra en partículas muy pequeñas que tienen una gran superficie de contacto. Permanece por más de mil años ya que su complejidad hace que no sea buena comida para los organismos (Magdoff & Van Es, 2009). Sin embargo, proporciona al suelo propiedades químicas que le dan la capacidad de almacenar nutrientes y liberarlos gradualmente. Esto se debe a que las partículas de humus tienen carga negativa, mientras que la mayoría de los nutrientes están en forma de iones positivos (Magdoff & Van Es, 2009). El nitrato es una excepción, y es por esto que es tan fácil que se pierda por lixiviación. El almacenamiento de nutrientes en el humus es importante porque las plantas no toman todos los nutrientes en un solo momento, sino que necesitan un aporte constante. Además, al unirse con el humus se evita que los nutrientes se pierdan por lixiviación (Magdoff & Van Es, 2009). Otras propiedades de esta fracción de la materia orgánica del suelo es que puede rodear químicos potencialmente dañinos evitando que entren en contacto con las plantas. A su vez, también mejora la retención de agua y alivia la compactación (Magdoff & Van Es, 2009).

Las plantas no pueden obtener los nutrientes de los residuos orgánicos tal cual están, por lo que necesitan que los organismos descomponedores del suelo los rompan a moléculas más simples e inorgánicas o minerales, a este proceso se le conoce como mineralización. De esta forma las plantas obtienen nitrógeno en forma de amonio y nitrato, fósforo y azufre, así como micronutrientes (Drinkwater et al. 2017). El tercer tipo de materia orgánica son los propios organismos vivos. Estos son al mismo tiempo un almacén y fuente de nutrientes en el suelo. Cuando no están presentes se necesita usar más fertilizantes y pesticidas en un cultivo. Mientras más diversidad de organismos del suelo esté presente, menos riesgo hay de plagas (Altieri, 2000).

## **Organismos vivos del suelo**

Es fundamental considerar que el suelo está vivo para reconocerlo como una construcción biosocial, porque los organismos mediante sus actividades modifican las características físicas, químicas y biológicas del suelo, construyéndolo, realizando eso que se conoce como construcción de nicho (Flynn, et al., 2013; Laland & Brien, 2012; Laland, et al. 2013a; Laland, et al., 2011; Laland, et al. 2013b). Para que el suelo sea un medio de producción y reproducción

de la vida humana, se necesita de las acciones de construcción de nicho que realizan estos organismos, y estas son afectadas por las acciones humanas. Los organismos vivos constituyen un 15% de la materia orgánica del suelo. Se conoce como “fitobioma” al conjunto de las plantas, su ambiente y diversos organismos macro y microscópicos que interactúan con ellas (Leach, et al, 2017). Todos estos organismos y elementos abióticos forman redes complejas de interacciones que se establecen y regulan por ciclos de nutrientes, competencia, antagonismos, mutualismo, facilitación y comunicación química. El ecosistema o ecosistemas se extienden alrededor y dentro de las plantas, están compuesto por virus, bacterias, arqueas, hongos, animales y otras plantas. Tanto el genotipo, como el ambiente y el compartimento de la planta (hoja, raíz, tallo, semilla) influyen en la composición de la comunidad del fitobioma (Leach, et al, 2017). Los procariontes dominan todos los compartimentos, pero es en la superficie de las raíces donde su diversidad y abundancia son mayores (Leach, et al, 2017). Existe una estrecha relación entre los eventos que suceden sobre el suelo (tallo, hojas, flor) y los que ocurren en el suelo (raíz). Por ejemplo, una infección en las hojas afecta el microbioma de la raíz (Leach, et al, 2017). Los animales eucariotas tienen su propio microbioma que interactúa con el de la planta. Algo notable es que la comunicación entre y al interior de los reinos es parte integral del funcionamiento del fitobioma (Leach, et al, 2017).

Se conoce como rizósfera a la zona en donde interactúan el suelo, las raíces y la biota del suelo (Lynch, 2012). Se trata de la interfaz entre raíz y suelo, el lugar en el que ocurre la absorción de nutrientes hacia la planta, muchas veces facilitada por otros organismos (Larsen, et al, 2015). La rizósfera es una zona estrecha de suelo, pero en la que existe la mayor abundancia, diversidad y actividad microbiana. La biota del suelo está compuesta por microorganismos como procariontes y protozoarios, así como animales y hongos. Las interacciones entre ellos ocurren muchas veces en beneficio de la planta. De hecho, evolutivamente, las plantas han llegado a depender mucho de su microbioma, el cual extiende el repertorio funcional de las plantas (Bakker, et al., 2018). En primer lugar, en cuanto a obtención de nutrientes y agua, y también en protección contra patógenos (Bakker, et al., 2018). Los microorganismos pueden tener efectos en el fenotipo de la planta, estimulando ramificación de raíces o activando las respuestas de defensa (Bakker, et al., 2018). Recíprocamente, la planta genera cambios en la composición de su microbioma en respuesta a fuentes de estrés como infecciones, sequía y falta de nutrientes, a través de cambios en las sustancias que libera al suelo. De hecho, como ejemplo, se ha observado que los genotipos resistentes a hongos del género *Fusarium* sustentan un mayor número de familias de

microorganismos benéficas, por ejemplo, Pseudomonadaceae y Bacillaceae (Bakker et al., 2018). Esto sugiere que dicho genotipo le provee resistencia a la planta mediante su capacidad de sustentar relaciones con dichas familias de procariontes.

El microbioma del suelo está involucrado en los procesos biogeoquímicos de ciclado de nutrientes del suelo, en particular, la dinámica de carbono, nitrógeno y fósforo. Es necesario un microbioma abundante y diverso para mantenerlos. Los productos de la fotosíntesis que son altos en carbono y que la planta deposita en la rizósfera promueven las actividades que los microorganismos realizan y que son importantes para la nutrición de las propias plantas. Principalmente descomposición de materia orgánica, solubilización de fósforo, fijación de nitrógeno, el transporte de nutrientes que llevan a cabo las micorrizas, y por otro lado, también ayudan en el control biológico de plagas (Larsen et al., 2015). Debido a la fotosíntesis, las plantas generalmente pueden adquirir carbono más fácilmente, mientras que los microorganismos, ya sea por fijación o por descomposición, son mejores obteniendo minerales (Lynch, 2012). De esta forma, se establecen relaciones de cooperación en el suelo en la que la planta, por medio de las secreciones de sus raíces proporcionan moléculas ricas en carbono a los microorganismos. Se estima que hasta un 40% de la producción primaria de carbono de la planta puede ser depositado en la rizósfera (Lynch, 2012). Los microorganismos al vivir y crecer, como parte de su metabolismo, descomponen compuestos altos en nitrógeno y fósforo, volviéndolos disponibles para las plantas, el proceso conocido como mineralización (Larsen et al., 2015).

Los exudados de la raíz estimulan o inhiben a las poblaciones microbianas y sus actividades. Los materiales depositados por las raíces en la rizósfera pueden ser exudados hidrosolubles como azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, hormonas y vitaminas. También pueden ser materiales hidrofóbicos como paredes celulares, fragmentos que se rompen o caen de la raíz, y mucílago como los componentes que se liberan de la célula en los eventos de autólisis (Lynch, 2012). También se libera mucho dióxido de carbono a la rizósfera debido a la respiración de las raíces, de hecho, constituye una buena parte del carbono liberado por las raíces. Otros exudados son los carbohidratos poliméricos y algunas enzimas (Lynch, 2012).

La rizósfera es un ambiente altamente dinámico, en el que la cantidad y calidad de rizodeposición y exudación dependen de cosas tan diversas y ontogénicas o contingentes como el estado de salud y nutrición de la planta (Bakker et al., 2018), la edad de la planta (Lynch, 2012), la edad de la raíz, sus condiciones iniciales, los microbios interactuantes, las estaciones,

el clima y posiblemente incluso la hora del día. Las raíces más jóvenes producen principalmente carbohidratos y aminoácidos de fácil degradación, mientras que las raíces más viejas secretan fuentes de carbono recalcitrantes como la celulosa. En el caso particular del trigo, la liberación de exudados se correlaciona positivamente con el crecimiento de la raíz (Lynch, 2012). La relación causal también es recíproca en cuanto que los microorganismos en la rizósfera aumentan la exudación. En general las plantas perenes depositan más exudados que las anuales (Lynch, 2012). Por otro lado, la exudación también depende de la especie y la variante.

Las interacciones microbianas son de suma importancia para la planta y para la ecología del suelo en general. Los microorganismos pueden producir un rango amplio de metabolitos secundarios. Algunos de estos como el etileno, las giberelinas, auxinas y citoquininas, regulan el crecimiento de la planta (Lynch, 2012). Pueden estimular o inhibir el crecimiento, dependiendo de su concentración en la rizósfera (Lynch, 2012). Como se mencionó, algunos microorganismos también proporcionan a la planta protección contra organismos patógenos, ya sea por competencia o parasitismo (Larsen et al., 2015), por medio de producción de antibióticos, por ejemplo las actinobacterias (Bhatti et al., 2017) u otras sustancias nocivas al patógeno, y por inducción de respuestas de resistencia de la planta. Por otro lado, los microorganismos también producen grandes cantidades de polímeros que son de suma importancia para la estructura del suelo, ya que generan agregación. La estructura del suelo es fundamental para las funciones biológicas de todos sus habitantes ya que influye en la biodisponibilidad de nutrientes y agua. Los suelos que no tienen agregados sufren de compactación. Las partículas se unen de forma tan estrecha que no hay poros que permitan el intercambio gaseoso, ni que puedan contener agua. El agua que está en suelos compactados se une tan fuertemente a las partículas de suelo que no está disponible para los organismos. Además, la consistencia de los suelos compactados es tan dura que no permite el crecimiento de las raíces. Así mismo, la estructura del suelo regula las dinámicas de poblaciones. Por ejemplo, los poros muy pequeños ofrecen a los procariontes protección contra depredación por organismos más grandes (Vargas & Hattori, 1986; Wright et al., 1995).

Los procesos biogeoquímicos de ciclado de nutrientes de los que depende la producción vegetal suceden en gran parte gracias a factores bióticos (Larsen et al., 2015). Las prácticas de manejo inciden de manera bastante directa sobre estos factores bióticos. Por esto el devenir del suelo se da en la interpenetración de lo social y lo biológico. Debido a los materiales que las raíces de las plantas depositan en el suelo, la rizósfera es la zona del suelo con mayor biomasa

y actividad microbiana. Estos microorganismos producen enzimas que facilitan la liberación de los nutrientes minerales de la matriz del suelo. Algunos microorganismos pueden solubilizar iones de hierro en condiciones de pH alcalino en las que las plantas no pueden obtenerlo por sí mismas (Lynch, 2012). Muchos procariontes tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico. Pero otra forma en que los microorganismos median la absorción de nitrógeno de la planta es la mineralización. A pesar de que inicialmente los microorganismos capturan e inmovilizan el nitrógeno al consumirlo, cuando son depredados y digeridos, este nitrógeno regresa al suelo y puede ser utilizado por las plantas (Lynch, 2012). Esto se debe a que las células procariontes son ricas en nitrógeno, que en un 80% excede los requerimientos de quien las ingiere (Lynch, 2012). El exceso de nitrógeno se libera al suelo en forma de amonio (Lynch, 2012). Los depredadores de microbios conocidos en inglés como “grazers” pueden ser insectos, lombrices, nemátodos y protozoarios. Los grazers también favorecen el recambio y dispersión de masa microbiana, y por lo tanto, de nutrientes minerales. Al dispersar impactan la composición de la comunidad microbiana, así como si se alimentan preferencialmente de algún miembro, lo cual puede reducir la población de la presa o aumentarla si se estimula el recambio. Por ejemplo, algunos nematodos favorecen ciertas bacterias que a su vez promueven el crecimiento de la planta (Leach et al., 2017).

Además, la microbiota puede proteger a la raíz de la sequía, por ejemplo, el micelio de la micorriza puede extender la superficie de absorción de la raíz y ramificarse a través de grandes volúmenes de suelo (Allen, 2007). Los microorganismos también producen polisacáridos que sostienen agua y pueden producir aerénquima en las raíces de plantas de suelos inundados mediante la degradación de células de la corteza. Esto aunado al aerénquima que algunas plantas producen por sí mismas (Lynch, 2012).

Las lombrices son un habitante del fitobioma notable por sus aportes a la construcción de suelo. Abren túneles dando una estructura porosa al suelo. Estos facilitan el crecimiento de las raíces de las plantas e hifas de hongos, el movimiento de artrópodos y la capacidad del suelo de infiltrar y contener agua, así como el intercambio gaseoso (Lynch, 2012). Al atravesar sus túneles, las lombrices van dejando una sustancia rica en polisacáridos que adhiere entre sí las partículas del suelo generando agregación (Sultan, 2015), una de las características más importantes de la estructura del suelo (Magdoff & Van Es, 2009). Además, esta sustancia es una fuente de carbono que promueve la actividad microbiana. También tiene una importante función como descomponedores. Sus pelets fecales mejoran la estructura y fertilidad del suelo. Esta materia fecal contiene carbonato de calcio y tiene niveles más altos de humedad, actividad

microbiana y concentraciones más altas de carbono orgánico soluble que el resto del suelo (Magdoff & Van Es, 2009; Sultan, 2015). Por otro lado, con sus movimientos, las lombrices incorporan a las capas inferiores del suelo materia orgánica en la forma de hojas u otros objetos orgánicos en descomposición.

La mayor parte de las plantas, de manera natural forman asociaciones mutualistas con hongos del phylum Glomeromycota (Larsen et al., 2015), llamadas micorrizas. Estas juegan un papel clave en la relación raíz y suelo, al intensificar su contacto a través de su extensa red de micelio. Las micorrizas afectan fuertemente las comunidades microbianas de la rizósfera. Aceleran la descomposición de materia orgánica, transportan nitrógeno en la forma de amonio a la planta hospedera, y reducen las pérdidas de nitrógeno del suelo por lixiviación y desnitrificación. Además de ayudar a mejorar la estructura física del suelo (Magdoff and Van Es 2009; Oehl et al. 2004), las micorrizas arbusculares juegan un papel muy importante en el rizobioma, ya que participan en la adquisición de nutrientes para las plantas. Se considera su importancia principalmente en que movilizan fósforo, transportándolo a la planta hospedera. Las micorrizas también pueden ayudar a la planta a tener resistencia contra patógenos que dañan su raíz, ya que compensan la pérdida en capacidad de absorción de nutrientes (Oehl et al. 2004). Las asociaciones que hacen los hongos micorrícicos no se reducen a las plantas, sino que pueden existir asociaciones tripartitas entre planta, hongo y bacterias (Oehl et al. 2004). Los procariontes que se asocian a la micorriza viven de los exudados de esta. Estas asociaciones con bacterias son muy cercanas y realizan funciones como fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo y control biológico. Las micorrizas también cambian cuantitativa y cualitativamente el microbioma de la rizósfera a través de su influencia sobre los exudados de raíz (Oehl et al. 2004).

La asociación de las leguminosas con las bacterias rizobiales: *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, y *Bradyrhizobium*son (Drinkwater et al. 2017) es uno de los ejemplos paradigmáticos de simbiosis mutualista. Estas bacterias son fundamentales en la nutrición del fitobioma ya que, junto con algunas bacterias diazótrofes de vida libre y cianobacterias, son los únicos organismos que pueden fijar nitrógeno atmosférico (Drinkwater et al. 2017). Aunque el nitrógeno es el mayor componente atmosférico, la mayor parte de los organismos no podemos tomarlo de esa fuente puesto que no tenemos la enzima que rompa el triple enlace de la molécula  $N_2$ , la nitrogenasa. La fijación de nitrógeno atmosférico es una reacción energéticamente muy demandante y además la nitrogenasa es sensible al oxígeno. Es por esto que el mutualismo entre legumbres y rizobiales funciona tan bien, ya que los nódulos

proveen un entorno que protege a la nitrogenasa del oxígeno y proporciona energía para la reacción. Algunas leguminosas pueden fijar hasta 200 Kg de nitrógeno por hectárea al año (Drinkwater et al. 2017; Magdoff and Van Es 2009). El alto requerimiento energético de la fijación de nitrógeno es posiblemente la razón termodinámica y evolutiva por la que no ocurre más frecuentemente en la naturaleza. Existen otras bacterias con la capacidad de fijar nitrógeno (diazótrofas) que son de vida libre, tales como *Azospirillum*, *Burkholderia* y *Bacillus*, estas bacterias además promueven el crecimiento de la planta al inducir ramificación de las raíces, solubilizar fósforo y controlar los patógenos de la raíz (Drinkwater et al. 2017).

A pesar de que algunos nemátodos son importantes plagas que causan grandes pérdidas en los cultivos, existen muchos otros tipos de nemátodos con interacciones de diverso tipo con las plantas. Los nemátodos que no son parásitos de plantas también son comunes en la rizósfera e incluso pueden ser indicadores de un suelo sano ya que implican características como disponibilidad de nutrientes, estructura del suelo, capacidad para guardar agua, ausencia de metales pesados y pH estable, entre otras (Larsen et al., 2015). Son parte importante de los procesos de ciclado de nutrientes debido a sus hábitos alimenticios diversos y especializados. Los hay que se alimentan de procariontes, hongos, materia en descomposición u otros nemátodos (Larsen et al., 2015). Son elementos importantes de las redes tróficas. Es gracias a todas estas interacciones que los nemátodos tienen con otros organismos que muchos elementos se liberan de la matriz del suelo y quedan disponibles para la nutrición de las plantas. De hecho, se estima que de 8 a 19% de la mineralización de nitrógeno en el suelo es gracias a los nemátodos bacterívoros y depredadores de otros nemátodos (Larsen et al., 2015). Algunos nemátodos que no son fitoparásitos incluso ayudan a las plantas a protegerse de los nemátodos fitoparásitos al colonizar sus raíces y secretar compuestos nematocidas. Los insectos herbívoros que se alimentan de raíz pueden constituir plagas y causar daños a las plantas, pero también pueden tener efectos positivos en el ecosistema. Si se trata de insectos que se alimentan de raíces viejas, propician el recambio de raíz. También dispersan las micorrizas. Si se alimentan también de materia en descomposición promueven la mineralización y reciclaje de nutrientes como nitrógeno, azufre y fósforo. Además de que previenen pérdidas por lixiviación al inmovilizarlos en sus cuerpos.

## **Construcción biosocial del suelo en el capitalismo-colonialismo**

A partir de los elementos anteriores en los que hemos visto someramente la estructura de la formación social capitalista en sus implicaciones para la agricultura y después de llamar revisar y centrar la atención sobre los aspectos procesuales y relacionales en los suelos, que se caracteriza por la interdependencia ecológica, con una pronunciada ausencia de límites definidos, podemos ensayar una visión de la forma concreta que toman los suelos como construcción biosocial en el capitalismo. Actualmente la forma agrícola capitalista depende de la producción y aplicación de grandes cantidades de fertilizantes minerales que genera la industria, en lugar de regresar la materia orgánica al suelo. Como vimos anteriormente, se puede construir fertilidad o lo opuesto. Con diferentes tipos de prácticas los humanos co-construimos el suelo ya sea mejorándolo o degradándolo, pero el capitalismo promueve ciertos tipos específicos de prácticas que tienden a degradarlo. Cuando se utilizan los fertilizantes minerales, generalmente se hace bajo la lógica de evitar que esos elementos sean el factor limitante de crecimiento de la plantas (Drinkwater et al., 2017), por lo cual suele agregarse mucho más de lo que las plantas pueden tomar en un momento dado. Por esta razón, gran parte de los nutrientes agregados se pierden del suelo por lixiviación y acaban contaminando cuerpos de agua. Los fertilizantes en acuíferos y cuerpos de agua generan un gran problema de eutrofización, en el cual el exceso de nutrientes favorece el crecimiento de algas en la superficie que evitan la oxigenación de las capas inferiores. De hecho, hay una parte grande del Golfo de México en la desembocadura del río Mississippi que está muerta por falta de oxígeno debido a la contaminación que viene de las granjas (Magdoff, Foster, & Buttel, 2010). Al usar fertilizantes minerales no se construye fertilidad en el suelo, pues los nutrientes sólo están presentes instantáneamente y luego se pierden; esto presenta una diferencia importante con respecto a una estrategia que buscase dotar el suelo de una entrada constante de materia orgánica y que, probablemente, se podría conceptualizar de una mejor manera desde una ontología procesual.

Como hemos visto, la materia orgánica puede existir en el suelo en diferentes formas con diferentes velocidades de liberación, además, sustenta una comunidad de seres vivos que, entre otras cosas, está continuamente mineralizando los nutrientes que las plantas necesitan. Además, al depender principalmente de fertilizantes minerales y descuidar la materia orgánica, el suelo pierde propiedades físicas cruciales y necesita niveles de arado más intensivo, llevando también a degradación de suelo (Drinkwater et al., 2017). Estas dos visiones son radicalmente

diferentes, una es a corto plazo y tiene el efecto de degradar el suelo a la larga, la otra busca construir fertilidad en el suelo de manera que sea sustentable a largo plazo.

Por otro lado, la fertilización también tiene efectos en el microbioma del suelo. La fertilización con fósforo disminuye la cantidad y diversidad de micorrizas en el suelo, además de que cambia la composición de especies de la comunidad. En diversos estudios (Galvez, Douds, Drinkwater, & Wagoner, 2001; Gryndler et al., 2006; Mäder, Edenhofer, Boller, Wiemken, & Niggli, 2000; Oehl et al., 2004) se ha encontrado un conteo disminuido de esporas, menor colonización de raíces, menor longitud de hifas y concentración del ácido graso 16:1 $\omega$ 5, específico de las micorrizas arbusculares. Fritz Oehl y colaboradores (2004) sostienen la hipótesis de que estas especies son importantes para la nutrición de las plantas en campos que no reciben fertilización mineral, y que si estas prácticas ponen en riesgo o disminuyen sus poblaciones los resultados pueden afectar de forma muy negativa la producción de alimentos y la conservación. Por otro lado, un estudio (Johnson, 1993) se preguntó si las prácticas agronómicas, en particular la fertilización, estarán modificando la evolución de las micorrizas arbusculares vesiculares al seleccionar organismos menos mutualistas. Se sabe que las micorrizas son simbioses biótros obligados que dependen de los compuestos orgánicos (carbono) que obtienen de la planta (Lynch 2012; Schwab, Menge, and Tinker 1991) y que bajo condiciones estresantes las raíces de las plantas liberan más carbono mediante sus exudados (Schwab, Menge, and Tinker 1991; Sylvia and Neal 1990), mientras que cuando hay suficiencia de nutrientes, en particular fósforo, sus exudados disminuyen. La hipótesis del estudio es que cuando hay condiciones de fertilización mineral, hay suficiente fósforo y la planta deja de mandar recursos a la micorriza a través de los exudados. En estas condiciones se ejercerá una mayor presión de selección sobre las micorrizas que puedan conseguir carbono que no estaba originalmente destinado a ella, de ahí adaptándose a un modo de vida parasitario. De esta forma se seleccionarían micorrizas menos benéficas o incluso perjudiciales. Los resultados de su experimento que duró ocho años confirmaron esta hipótesis.

En cuanto a los efectos de la fertilización mineral sobre *Rhizobium*, se ha observado que la fertilización con sales de nitrógeno solubles disminuye tanto el número de nódulos (Arias, Vega, Ruiz, & Wood, 1999; Fred & Graul, 1916; Streeter, Wong, & Streeter, 2008; Vargas, Mendes, & Hungria, 2000), como el tamaño de estos (Vargas et al., 2000), como la fijación de nitrógeno (Streeter et al., 2008), tanto por falta de oxígeno para la respiración (Denison & Harter, 1995) como por saturación de los productos de la reacción. Así como en el caso de las micorrizas, también se ha hipotetizado que, bajo el esquema evolutivo de la Síntesis

Moderna, la fertilización podría seleccionar *Rhizobium* menos mutualistas y variedades de legumbres menos capaces de protegerse de malos mutualistas o “tramposos” como se les llama en el modelo de teoría de juegos (Kiers, Hutton, & Denison, 2007; Kiers, West, & Denison, 2002). La fertilización artificial eliminaría la presión de selección tanto de los procariontes de fijar nitrógeno y transferirlo a la planta, como de la planta de no mantener relaciones con bacterias que no le aportan tanto nitrógeno. En un estudio realizado por Kiers y colaboradores (2007) esta hipótesis fue confirmada.

Bajo la lógica de maximizar la ganancia, reduciendo el tiempo y el costo de producción, el capitalismo promueve un tipo específico de prácticas que llevan la construcción biosocial del suelo por un camino que destruye las bases para la subsistencia de la propia agricultura. De hecho, las prácticas utilizadas en la producción agrícola capitalista, como la dependencia de fertilizantes y plaguicidas en lugar de mantener un nivel adecuado de materia orgánica y biodiversidad en el fitobioma, el arado intensivo y la maquinaria pesada promueven una espiral de degradación de suelo (figura 1).

La construcción biosocial del suelo bajo el capitalismo, como vimos, es una en la que la relación del humano con la naturaleza se ve mediada por el capital. La hambruna que ocurrió en Irlanda en el siglo XIX es un ejemplo histórico de cómo la lógica del capitalismo-imperialismo modifican el agroecosistema y el fitobioma. La racionalidad económica, que exige extraer la máxima ganancia al menor costo promovió la dependencia de la papa puesto que es una fuente mucho más barata de alimentación que la mezcla de granos que se utilizaba anteriormente. La papa como principal fuente de alimentación de las clases bajas permitió bajar mucho el salario mínimo al disminuir el valor de los bienes necesarios para la reproducción de la fuerza de trabajo. Este fue conocido como el “potato wage” (Vandermeer, 2011).

Antes de la hambruna, el oeste de Irlanda tenía un sistema agrícola en el cual la comunidad que habitaban los fondos de los valles compartían la tierra (Vandermeer, 2011). Había una sección de tierra interna cuyas parcelas se rotaban entre las familias para cultivo de granos, y tierras externas en donde pastoreaban. El abono producto de este pastoreo era muy importante para fertilizar las tierras, que eran de muy mala calidad en esa zona. La introducción de la papa en el siglo XVI acabó con esta estructura. Las papas no necesitan del mismo procesamiento para poder comerse que granos, los cuales requieren de la molienda. Así la estructura social relacionada con los molinos de granos también desapareció. Como, además de todo eso, proporcionaba una buena cantidad de calorías accesible incluso para el

campesinado más precarizado, su cultivo se expandió convirtiendo los campos en prácticamente un monocultivo de papa, cambiando tanto la ecología del suelo como la organización social de la zona. Esto volvió a la población de Irlanda muy vulnerable y completamente dependiente de la papa. Así estaba la situación cuando llegó el protista fungoide *Phytophthora infestans*, una plaga de la papa que encontró en los monocultivos un entorno ideal para su propagación rápida y amplia. Ocasionó la pérdida de más de dos tercios de la cosecha de papa y devastó por completo a los pobres de Irlanda. Un millón de personas murieron de hambre entre 1845 y 1850 y otros dos millones emigraron (Vandermeer, 2011). Lo curioso es que durante toda la hambruna en Irlanda se estuvo produciendo ahí mismo una gran cantidad de grano que se exportaba a Inglaterra. De hecho, Inglaterra importaba el 80% de sus granos de sus colonias. Esto fue el caso también durante todas las grandes hambrunas de las que ha sido responsable Inglaterra, por ejemplo, China e India. Inglaterra necesitaba mantener el precio de la comida artificialmente bajo a través de importar cantidades masivas desde sus colonias para mantener bajo el salario de la clase trabajadora. Esto fue una condición para la revolución industrial. Hasta el 2011 la población de Irlanda no se había recuperado a los valores previos a la hambruna.

Recapitulando, este capítulo trató de construir un diálogo entre las ontologías que revisamos en el primer capítulo y el ecosocialismo de Foster y sus colaboradores, así como Saito. Este diálogo se ve favorecido por el hecho de que el marxismo, como sabemos, utiliza un método dialéctico. La dialéctica, como se mencionó anteriormente, ya es un método que se centra en el proceso. Encontramos que las ontologías procesuales pueden complementarse y complementar de dicha propuesta ecosocialista. El ecosocialismo de Foster y colaboradores puede aportar su análisis marxista de las formas concretas que toman las relaciones sociales bajo el capitalismo y cómo afectan la relación naturaleza-sociedad. A saber, esta relación se ve mediada por el capital en una sociedad dominada por la forma mercancía propiamente capitalista. Las ontologías procesuales pueden aportar a esta propuesta, en mi opinión, una visión del devenir biosocial que no se apoye en una noción de equilibrio, como la de ruptura metabólica. Propongo retomar la idea de construcción que encontramos en los planteamientos de Oyama para entender un proceso que deviene en relación, generándose momento a momento en la interacción de todos los elementos involucrados y que no existe de manera previa a este devenir.

## Hacia una ontología procesual del suelo.

En la película estadounidense de 1996 titulada en español *Día de la Independencia* (Roland Emmerich) la Tierra se ve invadida por una especie extraterrestre. Estas criaturas se trasladan de planeta en planeta agotando sus recursos. Su modus operandi era el de conquistar y exterminar a los habitantes nativos con el fin de despojarlos de su territorio y sus recursos. Quizá podríamos decir que su relación con la naturaleza era la de un consumidor, extremadamente rapaz, que no reproduce sus condiciones de existencia. Lo más interesante de la película es que pareciera un reflejo o quizá una proyección inconsciente de la relación que Estados Unidos y Europa establecieron con los demás territorios de este planeta. Específicamente, EU y Europa en tanto que sitios en donde se originó el capitalismo. De acuerdo con Marx:

El descubrimiento de los yacimientos de oro y plata de América, la cruzada de exterminio, esclavización y sepultamiento en las minas de la población aborigen, el comienzo de la conquista y el saqueo de las Indias Orientales, la conversión del continente africano en cazadero de esclavos negros: son todos hechos que señalan los albores de la era de producción capitalista. Estos procesos idílicos representan otros tantos factores fundamentales en el movimiento de la acumulación originaria (Marx, 1867).

De acuerdo con Federici (2020), la colonización destruyó el 95% de la población originaria en toda la América colonial. La colonia fue una búsqueda ‘desenfrenada’ de oro y plata. Más de 17000 toneladas de oro de Brasil en 1640. Pero también se extrajeron otros materiales como azúcar, té, tabaco, ron y algodón a gran escala a partir de 1650, con la consiguiente apropiación de la fertilidad del suelo y el traslado de sus nutrientes al otro lado del atlántico. En 1600 Brasil exportaba el doble de azúcar que Inglaterra de lana, y la producción se duplicaba cada dos años. Sin embargo, de acuerdo con Federici, (2020) el recurso del que en mayor medida se apropiaron los europeos fue el trabajo. El colonialismo fue esencial para el despegue y desarrollo del capitalismo. La fuerza de trabajo esclava funcionó para proveer a Europa de bienes de consumo abaratados que el proletariado europeo necesitaba para su reproducción. De esta forma el colonialismo subsidió una fuerza de trabajo en Europa a la cual el empresario pudo reducir el salario mínimo.

Lo que se deduce de este panorama es que la violencia fue el principal medio, el poder económico más importante en el proceso de acumulación primitiva, porque el desarrollo capitalista requirió un salto inmenso en la riqueza apropiada por la clase dominante europea y en el número de trabajadores puestos bajo su mando. En otras palabras, la acumulación primitiva consistió en una inmensa acumulación de fuerza de trabajo — «trabajo muerto» en la forma de bienes robados y «trabajo vivo» en la forma de seres humanos puestos a disposición para su explotación— llevada a cabo en una escala nunca igualada en la historia (Federici, 2020).

Es quizá debido a este proceso asociado a la acumulación originaria que se proyecta una imagen en la que podría pensarse que la única relación posible de los seres humanos para con el suelo (como parcela específica de la naturaleza) es la de consumidores. ¿Es esto realmente así?

Aunque los tiempos de la colonia han quedado en el pasado y, por ejemplo, México, formalizó su independencia desde 1821, este modo de relación con la naturaleza y el consiguiente despojo continúa. La minería sigue siendo un proyecto central en este proceso, para el cual un cuarto del territorio nacional estaba concesionado en 2013 (Toledo, et al., 2013). Con 287 concesiones, de las cuales 207 fueron para empresas canadienses.

Poco después de la independencia mexicana, en 1856 el Congreso de EU aprobó la Guano Islands Act, bajo la cual anexó cualquier territorio que se creyera contenía guano. Esto llevó a su apropiación de 94 islas y rocas entre 1856 y 1903 (Foster, 2000). La razón es que en estos años, EU y Europa vieron agotada la fertilidad de sus suelos y emprendieron una búsqueda por todo el planeta para encontrar estos excrementos ricos en nitratos y fosfatos. Aún con este imperialismo del guano, no lograron reabastecer sus suelos de nutrientes, y para la segunda mitad del siglo XIX los yacimientos de guano empezaban a agotarse por lo que los sustituyeron con “nitratos chilenos”.

El primer barco que transportaba guano de Perú (...) llegó a Liverpool en 1835; para 1841, 1,700 toneladas fueron importadas y para 1847 llegaron unas 220,000 toneladas. Tan desesperados estaban los agricultores europeos en este periodo que asaltaron los campos de batalla napoleónicos (Waterloo y Austerlitz) buscando huesos que esparcir sobre sus campos (Foster y Magdoff, 2000).

Nauru es una isla del pacífico que fue víctima del imperialismo del guano (Shenon, 1995). Contenía fosfatos producto de la fosilización del guano y microorganismos marinos. Alemania quién poseyó la isla hasta la primera guerra mundial, comenzó la minería de los fosfatos en 1907. A partir de dicha guerra Australia ocupó Nauru hasta su independencia en 1968. Los fosfatos han sido minados durante más de un siglo destruyendo por completo el ecosistema hasta el punto en que ya sólo una franja costera es habitable. Cuatro quintos de la isla fueron extraídos. La transformación del terreno incluso afecta al clima. Las ondas de calor que suben de la roca caliza que conforma las entrañas expuestas de Nauru, repelen a las nubes de lluvia. Este imperialismo del guano ilustra la versión terrícola del drama interplanetario planteado en Día de la independencia, pero –a diferencia de la ficción extraterrestre- sin final feliz. Una población que agota la fertilidad de su suelo y busca territorios que anexar y saquear.

La proyección de dicho modo de vida consumista no se queda en la ciencia ficción hollywoodense, sino que alcanza las esferas académicas y científicas. El consenso de historiadores, arqueólogos y paleontólogos ha sido durante un largo tiempo que la civilización Maya prehispánica se vino abajo a causa de un colapso ambiental (Ford y Nigh, 2015). De acuerdo con esta hipótesis, la deforestación fue inevitable al cultivar maíz suficiente para sostener a una población en crecimiento. Dicha hipótesis está siendo cuestionada recientemente (Ford y Nigh, 2015) a partir de poner en relación disciplinas como la agroecología y agroforestería con la paleobiología, arqueología e historia. La imagen que resulta nos muestra que los investigadores europeos sobrepusieron a Mesoamérica su visión de lo que es la agricultura. Para la visión europea, la agricultura es incompatible con el bosque, o la selva. Por esto, la intensificación agrícola implicaría deforestación. A causa de esta herencia se concibe todo campo cultivable como sinónimo de campo “arable”. Es decir, un campo sin árboles, con suelos profundos y relativamente planos. Los campos que los Mayas cultivaban y en algunos casos siguen cultivando, no cumplen con la definición de arable, sino que se cultivaban a mano, aprovechando los diferentes microambientes.

La milpa tradicional no es un monocultivo de maíz, ni siquiera un policultivo de maíz, frijol, calabaza, sino un sistema de rotación agroforestal (Ford y Nigh, 2015). A pesar de la explicación dominante, la milpa maya tradicional no implicaba deforestación pues alternaba a través de fases de campo abierto y dosel cerrado en un ciclo que duraba entre 16 y 30 años (Ford y Nigh, 2015). Sin embargo, la milpa se ha representado como un sistema destructivo del ambiente y del suelo (Environmental Science Program, Division of Science and Technology, China et al., 2020; Palm, 2005). Esto se debe principalmente al desconocimiento

del complejo ciclo de la milpa tradicional, del cual la milpa “convencional” que es más frecuente hoy en día, es sólo una reminiscencia, que se da en el contexto de un modo de producción diferente, el capitalista. Uno de los aspectos más malentendidos de la milpa es el uso del fuego. El ciclo de la milpa convencional inicia con una quema, sin embargo, esta es una quema controlada que requiere gran conocimiento y habilidades (Ford y Nigh, 2015; Nigh & Diemont, 2013). Se trata de una quema a temperaturas bajas en la que no todo el carbono orgánico se convierte en CO<sub>2</sub>, sino que parte de ella permanece en forma de “biocarbón”. Este proceso de hecho ayuda a mejorar las cualidades físicas y químicas del suelo (Ford y Nigh, 2015; Nigh & Diemont, 2013). Hay una única quema grande en el ciclo y desde ese momento los agricultores mayas estaban al pendiente de generar las condiciones para las fases de reforestación.

El ciclo consta de tres fases. La primera es la de campo abierto que inicia con una quema y que consiste en el policultivo que conocemos como milpa: maíz, frijol, calabaza y otras plantas de entre 90 posibilidades mesoamericanas (Ford y Nigh, 2015) como chile, chaya, chipilín, tomate, papaya, camote, yuca, cacahuate, amaranto, achiote, hoja santa, chayote, quelites y nopal. Desde esta etapa el cultivo se encuentra intercalado con árboles que los mayas permitían, favorecían o directamente sembraban. Algunos de estos árboles proveían comida, medicina o materiales y algunos otros también favorecían la restauración del suelo y la regeneración de la selva. Entre ellos se encuentran *Cecropia sp*, *Sapium lateriflorum*, *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Schizolobium parahyba* (Ford y Nigh, 2015). La fase de campo abierto siempre está rodeada de selva, ya que esta constituye un reservorio de semillas para las siguientes fases. Durante la primera fase el maíz le da sombra a los árboles y arbustos que apenas están germinando. Cuando estos crecen lo suficiente para bloquear la luz al policultivo de campo abierto empieza la segunda fase, la de reforestación guiada. Esta consiste en el crecimiento de plantas que producen sombra (Ford y Nigh, 2015). Se siembran y seleccionan plantas de rápido crecimiento y ciclo de vida corto. Estas generan las condiciones de sombra que necesitan las plantas de la tercera y última fase, que ya es la del dosel cerrado, con la selva reforestada (Hernández Xolocotzi, 1995; Lara Ponce et al., 2012).

En cada fase del ciclo los agricultores obtenían valores de uso que permiten la reproducción de su vida, ya que estas eran las plantas que ellos sembraban y seleccionaban. De esta forma, la selva maya que hoy se considera un ecosistema “natural”, en ciertos lugares “prístino”, es en realidad una co-construcción humana mediante siglos de iteraciones del ciclo de la milpa.

La práctica de la milpa construyó un paisaje selvático en el cual más del 90% de los árboles dominantes tienen algún uso.

La huella maya es tan extensa que la riqueza de especies que despertó el interés de los biólogos de la conservación debe verse como el resultado, en gran parte, de milenios de selección y manejo humano. Si los mayas transformaron esta diversidad a lo largo de los últimos 8,000 años a favor de las necesidades humanas, entonces la flora y fauna que los conservacionistas ahora consideran amenazada y con necesidad de protección, debe haber evolucionado bajo manejo humano intenso (Ford y Nigh, 2015).

La selva maya es un devenir biosocial. La selva devino con los mayas, en sus prácticas y relaciones sociales y económicas. Y estas prácticas y relaciones devinieron con la selva. No fueron simples consumidores que deforestaron y “se acabaron los recursos”, sino que construían las condiciones para la reproducción de su vida. Este caso ilustra cómo la dicotomía entre “lo natural” y “lo social” no siempre es tan clara, y la producción y reproducción de la vida humana no tiene que ser contraria a esa “naturaleza”. Ford y Nigh (2015) cuestionan la idea de un colapso poblacional al final del Clásico y sugieren que el abandono de centros ceremoniales estuvo relacionado con razones más sociales que ambientales.

### **El suelo más allá del consumo**

La pregunta que sigue y que nos atañe en este trabajo es: ¿la relación de la humanidad con el suelo sólo puede ser la de un consumidor que se lo acaba o hay otras posibilidades? Ford y Nigh señalan que la ciencia eurocéntrica proyectó sus ideas acerca de agricultura, sostenibilidad y conservación hacia el pasado Maya y esto obstaculizó su comprensión. Estas ideas podrían articularse como una visión de que la agricultura implica una relación de consumidor con el suelo. Relación que es evidente en el imperialismo del guano. Pero ¿es la única forma de relación posible? La hipótesis que nos presentan Ford y Nigh acerca de la selva Maya por lo menos nos da una esperanza de que no es así. Tal vez pudiéramos, como el pueblo que ellos nos muestran, construir en el suelo, al tiempo que lo habitamos, las condiciones que nos permitan seguirlo habitando.

Quizá la principal ventaja de pensar el suelo como una construcción biosocial es precisamente la de poner al centro esta pregunta. ¿Qué construcción queremos y cuál podemos

hacer? ¿Qué condiciones nos posibilitan y cuales nos obstaculizan construir el suelo que queremos? Si el suelo es una construcción biosocial entonces, sin importar si nos planteamos o no estas preguntas, si nos relacionamos con el suelo como consumidores o de otra forma, de todas maneras estamos construyendo un suelo. La diferencia está en qué suelo construimos. Uno que nos permita reproducir nuestra vida, o uno que no. Levins y Lewontin (2007) retoman la concepción que Marx desarrolló para analizar la relación entre producción y consumo en las sociedades humanas para pensar desde allí a la naturaleza: “Cada acto de consumo es un acto de producción y cada acto de producción es un acto de consumo. Y en la dialéctica de la producción y el consumo, las condiciones de existencia de los organismos cambian”. En ese sentido el objetivo, desde una perspectiva de construcción biosocial, no es regresar a un suelo “natural”, sino ser sujeto de la construcción biosocial del suelo. Decidir conscientemente qué suelo queremos producir y reproducir. Por ejemplo uno que sustente la vida humana en lugar de ir en su detrimento.

Una segunda ventaja de pensar el suelo en términos de construcción biosocial es que también provee una forma de empezar a pensar acerca de la respuesta a dicha pregunta. El suelo es un proceso que deviene en relaciones que provienen de lo biológico y lo social. Se transforma a partir de las condiciones que los organismos en estos diferentes niveles de organización construyen. Los aspectos biológicos dan las condiciones para los sociales y viceversa. Esto nos da un marco de referencia para entender cómo construimos el suelo. ¿Cómo construimos un suelo compactado?, ¿qué organismos participan o dejan de participar?. ¿Cómo y con qué organismos construimos un suelo fértil?. Y por otro lado, ¿qué relaciones y estructuras sociales dan las condiciones que favorecen la presencia de dichos organismos en el suelo?.

Actualmente existe conocimiento construido desde los campos disciplinares de la agroecología y la agronomía, bastante conocimiento y propuesta, que sigue en transformación y devenir para tener algunas bases sólidas acerca de qué prácticas específicas propician qué características en el suelo. Una pequeña parte de este conocimiento fue presentado en este trabajo. Pero el conocimiento por sí mismo no puede ayudarnos mientras las decisiones que se tomen no tengan el objetivo de construir un suelo que sostenga la vida humana, sino de generar ganancia. Mientras, como señala Bolívar Echeverría (1998), los procesos de producción y consumo de bienes para la reproducción de la vida sólo puedan existir si sirven de soporte a otro proceso, ajeno y parasitario: el de la acumulación del capital. Como ya se revisó a lo largo de este trabajo, este segundo proceso es el que actualmente nos fuerza a cierto tipo de relación

con la naturaleza. La obliga en tanto que la producción no está en función de la satisfacción de necesidades humanas. Por esto, todo proceso dentro de la economía capitalista sigue la lógica de la acumulación. Nada puede realizarse que no deje una ganancia para los inversionistas. Esto lleva a relacionarnos con el suelo como meros consumidores. Puesto que lo primordial es, no sólo la ganancia, sino la mayor ganancia a corto plazo, más corto que el de los competidores.

La tecnología dentro de la agricultura convencional, sigue las lógicas del capital. Es una tecnología hecha por y para él. Lewontin y Berlan (1986) señalan que “Mientras que la investigación en agricultura y el cambio tecnológico en apariencia sirve a las necesidades de los campesinos y consumidores, en realidad está moldeada por las demandas del capital y funciona como un agente automático del capital determinando la naturaleza de la agricultura” (Lewontin y Berlan, 1986). Está diseñada y pensada para cumplir con el objetivo capitalista que es la valorización del valor. Un ejemplo de esto es la semilla híbrida, que, como se ha señalado, no está hecha para mejorar las condiciones de la agricultura, sino para volverla mercancía. Una semilla que se consume totalmente en el proceso de producción y que deba ser adquirida nuevamente en el mercado al inicio de cada ciclo. Acercándose a la historia de las semillas híbridas se vuelve claro que esta tecnología fue desarrollada desde un principio con ese objetivo en mente (Kloppenburger, 2004). George Shull, quien fue el primero en proponer la idea de los híbridos, señaló desde un principio que “(...) por la combinación de dos cepas que sólo están en su mayor cualidad en la primera generación, haciendo necesario el regresar cada año a la combinación original” (Shull citado por Kloppenburger, 2004). Posteriormente la idea fue continuada por Edward M. East y su estudiante Donald F. Jones quienes en su libro de 1917 titulado *Inbreeding and Outbreeding: Their Genetic and Sociological Significance* señalan que

No es un método que le interesará a la mayoría de los campesinos, pero es algo que puede ser fácilmente adoptado por los vendedores de semillas [seedsmen]; de hecho es la primera vez en la historia de la agricultura que un vendedor de semillas [seedsmen] puede ganar el beneficio completo de una creación suya o algo que compró. El hombre que crea dispositivos para abrir nuestras cajas de abrillantador para calzado o para autografiar nuestros negativos fotográficos es capaz de patentar su producto y ganar la compensación completa por su ingenio. El hombre que crea una nueva planta, la cual puede ser de un beneficio incalculable para todo el país, no recibe nada -ni siquiera fama- por su trabajo, ya que las plantas pueden

ser propagadas por cualquiera. Hay correspondientemente menos incentivo para la producción de variedades mejoradas. La utilización de híbridos de primera generación permite al creador quedarse con los tipos parentales y distribuir sólo las semillas producto de su cruce, las cuales son menos valiosas para una propagación continua (East y Jones citado por Kloppenburg, 2004).

Posteriormente, en 1920 Jones escribe en el *Journal of the American Society of Agronomy* exhortando al gremio de fitomejoradores a adoptar dicho método de hibridación. En este texto Jones vuelve sobre el mismo punto al sostener que la semilla híbrida “da al creador de variedades valiosas de maíz el mismo derecho comercial que un inventor recibe por un artículo patentado” (Jones citado por Kloppenburg, 2004). A esto siguieron 60 años de un enorme esfuerzo científico con financiamiento público y privado para desarrollar esta tecnología.

De acuerdo con Lewontin y Berlan (1986), East y Shull presentaron una explicación para el mayor rendimiento de las semillas híbridas en la cual recurrían a la hibridación en abstracto, sosteniendo que el sólo hecho de tener alelos diferentes generaba una llamada “estimulación fisiológica” que aumentaba el rendimiento (Lewontin y Berlan, 1986). Esta hipótesis nunca fue sustentada y hoy sabemos que es incorrecta. Sin embargo, tuvo la consecuencia de evitar el desarrollo desde las instituciones científica y delestado de otro método de mejoramiento del maíz que fuera a través iteraciones de selección. Esto debido a que una implicación de la hipótesis de East y Shull es que al entrecruzar dos líneas diferentes seleccionadas para el rendimiento, los pares de alelos diferentes se romperían y la “estimulación fisiológica” se perdería. En 1919, Hayes y Garber propusieron dicho método de “selección recurrente”. Su propuesta consistía en generar varias líneas autofecundadas pero con sólo dos o tres generaciones, seleccionar las mejores con respecto a la característica deseada y posteriormente entrecruzarlas, seleccionar las mejores y así sucesivamente. Sin embargo, este método no tiene la ventaja de facilitar la conversión de la semilla en mercancía, puesto que el maíz cosechado no baja su rendimiento al ser replantado. Como consecuencia este método sí fue utilizado pero subsumido al método de heterosis de East, Shull y Jones: se utilizó para obtener las líneas puras mejoradas a partir de las cuales se generaban los híbridos para el mercado. De acuerdo con Lewontin y Berlan (1986; 1998) la afirmación de que la semilla híbrida mejora el rendimiento es falsa, pues esconde muchos factores que en la coyuntura histórica contribuyeron a mejorar el rendimiento de las cosechas y también todo el

esfuerzo y recursos públicos y privados en generar, a través de selección, las líneas puras de alto rendimiento de las cuales se producía la semilla híbrida para el mercado.

Aparentemente inconscientes de lo que hacen, los genetistas agrícolas han anulado dialécticamente la realidad: afirman que usan un fenómeno biológico, la heterosis, para aumentar el rendimiento, cuando en realidad están usando la autogamia para generar esterilidad. Pero al tener éxito políticamente en esterilizar el maíz, tuvieron que enfocar la atención en la ilusión creada por la selección - el mejoramiento - para enmascarar su verdadero objetivo (Berlan y Lewontin, 1998).

Aunado a este objetivo principal, la semilla híbrida también comenzó a partir de la década de 1940 a ser creada a partir de cruces con el objetivo de generar mayor producción en un entorno agroecosistémico que incluye mecanización y aplicación de agroquímicos (Kloppenburg, 2004). De hecho para lograr la mecanización del campo no bastó con producir la máquina cosechadora, sino que hizo falta que los productores de semilla generaran variedades de plantas adaptadas a las máquinas (Kloppenburg, 2004; Lewontin y Berlan, 1986). En el caso del maíz híbrido, esto implicaba endurecimiento de las estructuras que conectan la mazorca con el tallo, múltiples mazorcas a la misma altura, y resistencia a acamarse. Algunas de estas características no sólo facilitaron la cosecha por máquina sino que dificultaron la cosecha a mano, lo que a su vez llevó a una mayor adopción de la máquina y a una vinculación más íntima entre las semillas híbridas y la mecanización. De igual forma, las semillas híbridas también favorecieron la mecanización por el hecho de que promueven la homogenización fenotípica al consistir en un cultivo genéticamente homogéneo.

Más tarde, después de la segunda guerra mundial existió un excedente de nitrógeno como consecuencia del término del conflicto bélico. Se previó que el nitrógeno que ya no se requeriría para la guerra iba a representar un problema de sobreproducción. La disponibilidad iba a ser del doble a un precio menor. La solución que la Sociedad Americana de Agronomía (ASA por sus siglas en inglés) encontró fue aumentar el uso de fertilizante mineral comercial por parte de los agricultores. Sin embargo, los híbridos disponibles en 1944 no respondían bien al aumento de fertilización mineral. En esas condiciones desarrollaban tallos débiles que tendían a acamarse (lo cual era un problema para la máquina cosechadora). Por esto, a partir del final de la década de 1950, los programas de fitomejoramiento incluían el crecimiento en entornos con altos niveles de fertilización como un objetivo para la generación de nuevas variedades. Además, esta coyuntura histórica coincidió con el periodo en que las ganancias de

la venta de híbridos empezaban a estancarse debido a la sobreutilización de unas pocas líneas puras y también a la saturación del mercado. Ya estaba plantado un 90% del espacio de cultivo de maíz con maíz híbrido. Por esto, otro objetivo al crear las semillas híbridas fue el de que las plantas pudieran dar un alto rendimiento sembradas a alta densidad. En Estados Unidos,

Entre 1950 y 1980, la siembra por acre de maíz casi se duplicó con el resultado de que las ventas de semilla híbrida de maíz aumentaron en un 60% aunque el número de acres sólo aumentó un 2% en ese periodo. En el mismo lapso, el tonelaje de fertilizante de nitrógeno aplicado al maíz se multiplicó por un factor de diecisiete. Mientras que sólo había 7 firmas produciendo amonio en 1940, había 65 en 1966. (Kloppenburger, 2004)

El aumento en densidad y en biomasa dentro de los campos cultivos construyó el entorno perfecto para la proliferación de plagas y enfermedades. Así como el aumento de fertilización favoreció a las malezas. Como consecuencia se intensificó el uso de pesticidas químicos y por lo tanto creció la industria agroquímica. De hecho, para 1988 el maíz constituía un tercio de las ventas de herbicidas y un cuarto de insecticidas (Kloppenburger, 2004).

A través de volver la producción del campo más dependiente de insumos industriales y de intermediarios que transporten, empaquen, procesen y distribuyan los productos del campo al consumidor final, la agricultura se vuelve más intensiva en capital. Esto es congruente con la propuesta de Marx, en la cual, con cada ciclo productivo el capitalista busca aumentar el capital constante y reducir la tasa capital variable/plusvalor (Marx, 1976). Excepto que en este caso el campesino o granjero no necesariamente llega a estar totalmente integrado en la forma de un trabajador asalariado, sino que se le controla a través de la integración vertical (Lewontin, 2000)

Por supuesto, no se puede hablar de biotecnología en la producción de semillas sin tocar el tema de lo que llegó a ser conocida como “tecnología terminator” (Berlan y Lewontin, 1998; Kloppenburger, 2004). Así fue rebautizado por el grupo ETC (Action Group on Erosion, Technology and Concentration) un método mediante el cual se producían cosechas de semillas biológicamente estériles (Kloppenburger, 2004). En marzo de 1998 (Berlan y Lewontin, 1998; Kloppenburger, 2004), el departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) junto con la empresa privada Delta and Pine Land Co. recibieron la patente estadounidense No. 5,723,765 para una técnica que consiste en introducir un transgen con el efecto de evitar que las semillas producto de las plantas transgénicas, germinaran. Con relación al tema de la forma

que toma la tecnología bajo el capitalismo, hay dos cosas que llaman la atención acerca de este caso. Por un lado, las empresas biotecnológicas dejan de esconderse tras el discurso de que sus productos son para beneficio de los granjeros, campesinos y consumidores ya que pocas cosas podrían ser tan contrarias a los intereses de dichos grupos que la esterilidad de las plantas en las que la humanidad basa su alimentación.

La segunda cosa es la claridad con la que se exhibe el resultado de la colaboración de instituciones públicas con capital privado. La tecnología terminator fue desarrollada por una institución pública (la USDA) con financiamiento de la Delta and Pine Land Co. Sin embargo, como se mencionó pocas cosas pueden ser tan lejanas al bien común que dicha tecnología. Considero que este es uno de muchos sucesos que muestran la incompatibilidad de los intereses de instituciones públicas y los del capital. Y la razón por la cual dichas “colaboraciones” sólo pueden resultar en que los intereses públicos queden subsumidos a la acumulación de capital. Otros ejemplos pueden consultarse en el capítulo ocho de *First the seed* (Kloppenburg, 2004). En él vemos cómo, a partir de la década de 1980, el capital ha remodelado las dinámicas, relaciones, prácticas y agendas de las universidades a través de financiamiento, colaboraciones, comisiones y otros mecanismos.

Este aumento cualitativo en la magnitud de la financiación privada de la investigación en ciencias vegetales no ha venido sin condiciones. El mejorador de trigo de la Universidad de Nebraska Virgil Johnson señaló que "parece claro que el dinero del sector privado ahora está dictando a un grado que no hemos visto antes el tipo de investigación que se hará". La mitad de los miembros del comité que decide cómo se utilizará el dinero de Illinois' Sohio proviene del personal de la compañía. La mayoría de los contratos de investigación implican la concesión de algún tipo de derechos de propiedad -cesión de patentes o licencias exclusivas- sobre los resultados de la investigación. La jerga corporativa refleja la existencia de tales arreglos: cuando se habla de la investigación que sus empresas están financiando en una universidad, los ejecutivos corporativos comúnmente dirán: "somos dueños de esa investigación" (Kloppenburg, 2004).

La “tecnología terminator” ha sido uno de los fenómenos que ha despertado el rechazo y la indignación de la población hacia la biotecnología. Muchos movimientos se organizaron impulsados por este rechazo y se logró frenar dicha tecnología. Es interesante que en 1999 el propio presidente de la fundación Rockefeller, Gordon

Conway, hiciera un discurso frente al personal de Monsanto exhortándolos a abandonar esa tecnología como prueba de buena fé para con la opinión pública (Kloppenburg, 2004). El mismo año el director de Monsanto, Robert Shapiro se comprometió públicamente a no comercializar semillas “terminator” (Kloppenburg, 2004). Sin embargo, Kloppenburg sostiene que sería un error suponer que la tecnología no sigue desarrollandose. Señala que empresas como Syngenta y Delta Pine siguen buscándola ahora bajo la justificación de que funcionarán como sistema de contención para que los transgenes no se esparzan en el ecosistema.

Como veremos en este capítulo, la tecnología dominante actual: fertilizantes minerales, pesticidas y semillas híbridas y patentadas, está necesariamente construida desde una visión del suelo que no es procesual. Mira al suelo y sus diferentes organismos, nutrientes, plantas, el agua y demás componentes que lo conforman, como objetos. Objetos de los que se puede ser dueño por un lado, y que se añaden, quitan, matan, compran, de forma aislada e individual. Como si el pesticida que se agrega para acabar con cierta plaga de insectos herbívoros no fuera a tener efecto sobre su depredador y otros insectos benéficos para el agroecosistema. Como si ese mismo insecticida no actuara como una presión de selección que resultara en resistencia en las poblaciones de insectos. La fertilización mineral parte de la idea de que el nitrógeno en forma soluble es un objeto que las plantas requieren y toman del suelo y no un estado en el ciclo biogeoquímico del nitrógeno. Por lo tanto la mejor solución sería añadirlo externamente, sin tomar en cuenta que el proceso continúa transformandolo químicamente y trasladándolo a cuerpos de agua. Aunado a esto, una visió procesual ve las entidades deviniendo en sus relaciones, por lo cual, cómo se trató en el capítulo dos, no podrían separarse las semillas de todo el proceso de domesticación y diversificación que les dió lugar, y de los sujetos de ese proceso. Por lo tanto no podrían patentarse y venderseles como mercancía.

De acuerdo con Altieri (2000), la producción para el mercado internacional requiere de economías de escala, la reducción en costos para una empresa que trae la producción en masa. En particular, la producción para el mercado internacional favorece la dominancia del monocultivo. El monocultivo y las tecnologías que lo permiten se desarrollaron dentro de la lógica del capital. Las tecnologías que sostienen la producción en monocultivo son la mecanización, las variedades mejoradas y por supuesto los fertilizantes y pesticidas. En el caso de la producción industrial de animales, los antibióticos y hormonas estimulantes del crecimiento. La tendencia en la producción agrícola ha sido volverse cada vez más concentrada, especializada e intensiva en capital.

Una de las consecuencias negativas de la especialización en la producción agrícola es que ocasiona que los residuos orgánicos no puedan reincorporarse al ciclo de producción agrícola, a causa de los costos de transporte. Las operaciones de producción de ganado se encuentran geográficamente lejos de las de producción de cultivos por lo que sus desechos no se pueden utilizar como abono (Foster y Magdoff, 2000). El resultado es lo que llaman ciclos abiertos (Gliessman, 2007), es decir, los residuos de la producción no se reciclan para reponer los nutrientes y la materia orgánica del suelo. Este fenómeno genera la necesidad de fertilización mineral y al mismo tiempo la existencia de fertilizantes químicos hace posible la reproducción del fenómeno. Los fertilizantes minerales que se aplican no tienen el objetivo de construir fertilidad en el suelo a largo plazo sino de exceder las necesidades instantáneas del nutriente en cada ciclo de cultivo. Sólo el 60% o menos (Drinkwater et al., 2017) es aprovechado por la planta, lo demás se pierde y va a dar a los cuerpos de agua.

Por otro lado, el cultivo de una misma especie o incluso una misma variedad genética, en grandes extensiones de tierra sin diversidad biológica es vulnerable a plagas de organismos especializados porque encuentran en ese campo un entorno propicio para alimentarse y reproducirse sin competidores ni depredadores. Por esto el monocultivo requiere pesticidas y a su vez, los pesticidas permiten el monocultivo. Sin embargo, estos pierden eficacia conforme las plagas se vuelven resistentes. La dosis de insecticida necesaria aumenta, en el 2011 se utilizaron 1.3 mil toneladas de ingredientes activos insecticidas en el mundo (Catarino *et al.*, 2015). Se pierde entre 20 y 30% de la mayoría de los cultivos a pesar de que el uso de pesticidas va en aumento (Altieri, 2000). Constantemente se necesitan nuevos productos porque este tipo de tecnología no toma en cuenta la evolución, sino *a posteriori*. Está basada en una ontología que no es procesual. No concibe a los organismos como siempre deviniendo en relación. Aunque una vez aparecida la resistencia, abre una nueva oportunidad de mercado. Hasta la introducción de los cultivos bt, *Bacillus thuringiensis* había sido utilizada por granjeros y campesinos para controlar insectos de manera eficaz ya que se esparcía en cantidades modestas de manera puntual. Sin embargo, los cultivos bt expresan la toxina todo el tiempo, en todas sus células a lo largo de amplias extensiones de monocultivo. En 1998, ante la cuestión de la evolución de resistencia en insectos, Monsanto afirmó que “hay mil otros r Bt ahí afuera (...) Podemos manejar este problema con nuevos productos” (Kloppenborg, 2004). Consideramos que esta es otra nueva forma de cercamiento de los comunes y acumulación primitiva, ya que un bien común que es la efectividad de *Bacillus thuringiensis* es apropiada y destruida por un agente privado para la acumulación del capital.

Otro problema que surge de no partir de una visión procesual del suelo es que afectan organismos que no son su objetivo, causando que disminuya la biodiversidad. También afectan negativamente a los depredadores de dicho objetivo, disminuyendo sus poblaciones, lo cual va en detrimento del control biológico ecosistémico (Catarino et al, 2015). Entender el suelo como proceso implicaría reconocer y tomar en cuenta para el diseño de las tecnologías, que existen conexiones tróficas, espaciales y de otro tipo que participan en el devenir del suelo y del agroecosistema. Es decir, que los límites no están bien definidos, por lo que el insecticida no va a actuar sobre un organismo delimitado.

### *La biotecnología contemporánea como reproducción de la fragmentación*

Una segunda fase de tecnologías para el campo, conocidas como biotecnología, ha tenido el discurso de que sería más amigable con el ambiente, ya que por ejemplo no se necesitaría usar tantos herbicidas (Altieri, 2000). Sin embargo, el uso de glifosato aumentó con la introducción de los cultivos transgénicos resistentes a herbicidas. Este creció 14.6 veces entre 1995 y 2014 (Benbrook, 2016). Se trata de cultivos modificados genéticamente de tal forma que son tolerantes al herbicida glifosato. El problema es que este enfoque de una sola medida en contra de la maleza favorece la formación de resistencia. En el 2008 ya se tenía conocimiento de 15 especies de maleza con resistencia a glifosato (Powles, 2008). Uno de los argumentos de las corporaciones agroindustriales a favor del glifosato es que es menos tóxico que los herbicidas que se usaban anteriormente (Duke y Powles, 2008). Sin embargo, la resistencia a este compuesto promovida por las plantas Roundup Ready ha provocado que se vuelvan a utilizar los viejos herbicidas. De hecho, la solución que DowDuPont y Monsanto proponen frente al aumento de resistencia a glifosato es desarrollar nuevas plantas genéticamente modificadas, esta vez resistentes a 2,4-D y dicamba (Hakim, 2017), dos de los herbicidas más viejos. Dicamba fue registrado en 1967 y el 2,4-D en 1946. Estos herbicidas no tienen los beneficios que supuestamente tiene el glifosato, por ejemplo, estos son mucho más volátiles (Duke y Powles, 2008). El riesgo de contaminación de campos cercanos es mucho mayor (Hakim, 2017) por lo que pueden acabar con plantas no objetivo que representan refugios para la biodiversidad, como depredadores. Además de que más cultivos resistentes a herbicidas no pueden tener un destino distinto al primero que es la generación de resistencia a estos herbicidas en las malezas. Esto, de nuevo, se debe a que estas tecnologías no tienen una visión

procesual, evolutiva del suelo. No toman en cuenta que las malezas también devienen en relación.

La otra solución biotecnológica que son los cultivos “Bt” tienen el mismo problema. Fomenta el uso de una única medida (las proteínas Cry) para el control de la plaga dejando de lado un manejo agroecológico. En consecuencia, las poblaciones de insectos generan resistencia (Altieri, 2000). Además, llegan plagas secundarias, que no son sensibles a la toxina Bt y ocupan el lugar de la población blanco (Catarino et al, 2015). Las plagas secundarias pueden ocurrir porque hay una especie que también se alimenta del cultivo pero no era ecológicamente buena competidora con la especie plaga. Cuando la toxina del Bt elimina a la plaga principal, esta segunda especie puede aumentar su población al punto de volverse otra plaga. También pueden ocurrir porque el cultivo Bt modifique el agroecosistema de tal forma que disminuyan las poblaciones de enemigos naturales del insecto en cuestión (Catarino et al, 2015). Por otro lado, las poblaciones de insectos que se alimentaban del cultivo en cuestión, se mueven a otros cultivos al ser desplazadas por el Bt, volviéndose plagas secundarias de otros cultivos como frutas u hortalizas. En cualquiera de estos escenarios la respuesta es volver a recurrir a los insecticidas químicos. En China, durante la década de los años 90 el control del gusano cogollero *Helicoverpa armigera* se vio muy dificultado a causa de la resistencia que ha generado (Catarino et al, 2015). Se introdujo algodón Bt en 1999 y la aplicación de insecticida bajó de 61 Kg/ha a 12 Kg/ha. Sin embargo, a partir del 2002 esta cifra volvió a aumentar y para el 2011 los campos Bt utilizaban más insecticida que los campos convencionales. Una situación muy similar ocurrió también con el algodón Bt en India.

De nuevo, ninguna de estas tecnologías tiene como punto de partida una ontología procesual, en la que se reconozca que los organismos devenimos en relación. Las poblaciones de malezas e insectos devienen con los pesticidas. Y diferentes poblaciones de organismos devienen unos con otros y con el manejo y tecnología que se aplica en sus alrededores. Los cultivos Bt han sido promovidos como más amistosos con el ambiente debido a que son más específicos que los insecticidas de amplio espectro, y según algunos investigadores es posible que incluso así sea (Catarino et al, 2015). Pero aunque este fuera el caso, un monocultivo, aunque sea Bt, sigue dependiendo de insecticidas por las razones expuestas anteriormente. Un campo al cual se reduce la aplicación de insecticida requiere de diversidad biológica que regule las poblaciones a través de interacciones ecológicas (Altieri, 2000). Sin embargo esto implicaría cambiar completamente el modelo agrícola hacia el policultivo y operaciones agrícolas más pequeñas. Esto a su vez requeriría de un cambio en el sistema económico global,

pues la producción para el mercado depende de las economías de escala y la especialización (Altieri, 2000).

Hay otros problemas que genera el hecho de que la tecnología no parta de una visión procesual del suelo y en general de los agroecosistemas. No parece tenerse en cuenta al desarrollar tecnología el hecho de que los organismos vivos no son estáticos ni tienen límites fijos y bien definidos. Los cultivos transgénicos pueden reproducirse con parientes silvestres, de modo que el transgén salga del cultivo y entre al dominio silvestre. Esto podría llevar por ejemplo a la creación de lo que llaman “súper malezas” (super weeds), plantas no domesticadas resistentes al herbicida, que podrían acabar siendo malezas difíciles de controlar (Altieri, 2000). Las toxinas Bt que se expresan en las plantas genéticamente modificadas pueden incorporarse al suelo cuando las hojas y tallos caen y se descomponen. Dichas toxinas pueden permanecer en el suelo durante dos o tres meses. El unirse y ser cubiertas por partículas de arcillas puede evitar su degradación manteniendo así su toxicidad y de esta forma afectar de manera negativa a organismos susceptibles del suelo y por consiguiente interrumpir los ciclos biogeoquímicos (Altieri, 2000). También el propio glifosato puede llegar a ser tóxico para depredadores como arañas y detritívoros como las lombrices (Altieri, 2000).

Como se señaló antes, los plaguicidas y fertilizantes permiten el monocultivo pero al hacerlo los cultivos se vuelven cada vez más dependientes de estos mismos insumos, porque el obviar la necesidad de biodiversidad los vuelve muy vulnerables. Las rotaciones adecuadas y otras formas de diversidad proporcionan mecanismos de autorregulación del sistema. Las variedades mejoradas de semillas van apareciendo a lo largo del tiempo y tienen momentos cúspide en la que muchos productores las siembran y luego son reemplazadas por otras (Altieri, 2000). Esto se debe a que la variedad deja de ser ventajosa, su producción baja cuando las plagas se adaptan a ella o simplemente aparece una variedad más prometedora en el mercado. El recambio ocurre cada 5 a 7 años, por lo que en lugar de existir diversidad en el espacio hay una constante sucesión de variantes.

### **Salidas procesuales a la crisis ambiental vista desde el suelo**

Los problemas agrícolas como la erosión del suelo y su pérdida de productividad por agotamiento de nutrientes, la contaminación del agua, el surgimiento y resurgimiento de plagas primarias y secundarias, la resistencia a los plaguicidas bajo manejo intensivo pueden alcanzar

el punto en el que la energía que se invierte en la producción es mayor que la que se cosecha. Altieri (2000) señala que cada uno de estos problemas se ven como independientes y no como “lo que es realmente— un síntoma de un sistema que fue diseñado y funciona de manera deficiente.” En el primer capítulo se mostraron las características del suelo que lo hacen más afín a una ontología procesual. Las tecnologías propias de este sistema que Altieri señala que no es funcional, no toman en cuenta esta característica procesual del suelo. No toma en cuenta que es dinámico, sin límites definidos, y que esto lo lleva a estar constantemente negando y contradiciendo su identidad. Por eso el gusano cogollero no sigue siendo el mismo en un momento posterior a aquel en el que se diseñó el transgénico Bt para evitarlo. Y lo que es más, esa misma intervención para solucionar la plaga condiciona su evolución. Las plagas devienen con el manejo. El enfoque a corto plazo no visualiza un futuro. O supone que en el futuro las condiciones van a permanecer siempre iguales a como las encontramos ahora. Es decir, no toma en cuenta el cambio, en especial el cambio que las acciones en el corto plazo generan en el largo plazo. Pero una visión procesual necesariamente integra al tiempo.

Otra característica es que los procesos dependen de la actividad para continuar existiendo. El suelo depende de la actividad biológica entre otras cosas para mantener su agregación y estructura. La degradación de la materia orgánica que realizan algunos organismos al alimentarse genera sustancias pegajosas que mantienen unidas las partículas de suelo. Los campos con manejo intensivo también son muy vulnerables a la erosión y a la compactación porque al sustituir la fertilización con materia orgánica por fertilización mineral, no se favorece dicho proceso de degradación de materia orgánica. Los organismos detritívoros y descomponedores no tienen alimento, sus poblaciones se ven disminuidas y con ellas su actividad. Entonces el suelo cambia y pierde estas características que lo hacen favorable al cultivo. Se degrada. La tecnología de los fertilizantes químicos obvia la necesidad de materia orgánica, pero no toma en cuenta que el suelo es un proceso que depende de la actividad de los organismos para continuar siendo lo que es. Además, la idea de una operación de cultivo que requiera en cada ciclo la adición de un insumo que se produce externamente para nutrir a las plantas, pasa por alto los ciclos biogeoquímicos de nutrientes. Al no concebir el suelo como proceso, sino como objeto, no es una tecnología que aproveche estos movimientos y esta actividad.

Como se vio en el capítulo 2, la fertilidad del suelo se puede agotar cuando las salidas de nutrientes que ocurren con cada cosecha no son compensadas con entradas. Esto fue lo que ocurrió en Europa en el siglo XIX, y fue el detonante para que se buscara fabricar fertilizantes

sintéticos. La forma dominante en la que actualmente se fertiliza el suelo para la producción agrícola está fuertemente sesgada por la ontología de objetos. Conceptualiza el  $\text{NH}_4$ , el  $\text{NO}_3$ , el ortofosfato y la planta como objetos independientes, y bien delimitados. Dentro de ese enfoque la planta es un objeto que necesita el amonio, por lo que se le agrega y supone que la planta lo toma sin que medie interacción con otros procesos bióticos y abióticos. De acuerdo con la ontología de objetos implícita en la tecnología agroindustrial, el N y el P son objetos que se agregan y no procesos que cambian al estar en el suelo y entrar en contacto con organismos como procariontes nitrificantes y desnitrificantes o con minerales del suelo como hierro y aluminio. Cuando en este tipo de manejo se observa que la fertilización no está siendo efectiva porque el N se pierde por las vías biológicas mencionadas, se agregan otros objetos como compuestos químicos inhibidores de la nitrificación (Drinkwater et al., 2017).

A partir de lo anterior, surge la pregunta ¿cómo sería la tecnología si concibiéramos al suelo como proceso: sin límites definidos, que está siempre cambiando, que existe por la actividad, que deviene en sus relaciones? Esta perspectiva aplicada, por ejemplo, a la nutrición del cultivo, partiría de la observación de que los nutrientes están en constante flujo y transformación dentro de un ecosistema y observaría cómo se mueven en el agroecosistema.

El Manejo Ecológico de Nutrientes (Ecologically based nutrient management), propuesto por Drinkwater y colaboradores (2017), es un ejemplo de un enfoque que parte de una visión procesual del suelo. En este enfoque los nutrientes son vistos como procesos. El nitrógeno puede existir de muchas formas en el suelo: amonio, nitratos, óxido nitroso, formas orgánicas e inorgánicas, dentro y fuera de las células de los organismos que forman el suelo. Además, estas diferentes formas se presentan en diferentes momentos de los ciclos biogeoquímicos y así mismo tienen diferentes destinos en el suelo. No se concentra sólo en un fotograma del proceso que es el nutriente soluble inorgánico. Este enfoque observa y toma en cuenta los ciclos biogeoquímicos completos. Es decir, las diferentes formas en que se encuentra en el suelo y sus distintas transformaciones y movimientos, así como los organismos que participan en ellos. Observa las vías por las que el nutriente se pierde del suelo y las maneras en que se retiene.

Su objetivo es aprovechar y aumentar los procesos que contribuyen a la retención y reciclaje interno de los nutrientes, y reducir aquellos procesos por los que los nutrientes se pierden del suelo. Como se señaló en el capítulo 1, los procesos biológicos juegan un papel importante en la regulación del ciclado de nutrientes. Por esta razón, en gran parte de los ciclos,

los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo se encuentran unidos al carbono. Es por esto que este manejo no se preocupa únicamente por el N y P mineral, sino que se enfoca en varios reservorios. Además de que su forma inorgánica es una de las vías principales en que los nutrientes salen del sistema, es decir se pierden hacia la atmósfera, los lixiviados que van a parar a cuerpos de agua o en el caso del fósforo, se ocluye en los minerales y queda en una forma que no está disponible para las plantas. La razón de esto es que la adición del fertilizante mineral satura la capacidad de asimilación tanto de microbios como de las plantas. Entonces aumentan las vías de pérdida.

Por el contrario, los nutrientes que están en forma orgánica permanecen más tiempo en el suelo, ya sea en los cuerpos de microorganismos y animales o como materia orgánica en descomposición. El hecho de que se fomente la asimilación por microbios de N y P sería contraintuitivo para una ontología de objetos porque los microbios y las plantas compiten por los nutrientes. El hecho de que esta propuesta lo promueva revela su visión procesual: no hay límites bien definidos, el N y P que los microorganismos acumulan pasa a las plantas a través de procesos ecológicos. Por eso los microbios funcionan como almacén y fuente de nutrientes. De alguna forma este método representa una tecnología que utiliza a los microorganismos para que retengan nutrientes que se perderían rápidamente en forma inorgánica. Una tecnología procesual no puede concebirse como un sólo producto, un sólo objeto, que se agrega al suelo. Sino es más bien un plan de manejo que incorpora los diferentes procesos a diferentes escalas temporales y espaciales que regulan, en este caso, la disponibilidad de nutrientes en él.

Las propias plantas también tienen un papel en el ciclado de nutrientes. Por ejemplo, a través de la rizodeposición las plantas proporcionan carbono a los microorganismos. Este carbono aumenta la actividad microbiana y con ella la mineralización, solubilización de fósforo, fijación de nitrógeno y almacenamiento de nutrientes. Como se señaló en el capítulo 1, cuando dichos microorganismos son consumidos por sus depredadores, los nutrientes quedan disponibles para las plantas. Por ello, otra tecnología procesual podrían ser los llamados “cover crops”. Las plantas pueden utilizarse como abonos verdes. Estas son plantas que se cultivan no con el objetivo de obtener alimento, fibras o forraje, sino para evitar que el suelo esté desnudo y finalmente ser incorporadas al suelo. De esta forma se reduce la pérdida de nutrientes ya que estos quedan retenidos en las propias plantas que luego se reintegran al suelo como materia orgánica. Además, la rizodeposición de estas plantas mantiene activas a las poblaciones microbianas que de otra forma disminuirían en los periodos entre cultivos.

Como también se mencionó en el capítulo 1, el amonio está sujeto a mucha competencia en el suelo, ya que además de las plantas, lo utilizan microorganismos heterótrofos y procariontes nitrificantes. La cantidad de nitrógeno que se pierda del suelo dependerá en gran parte del resultado de esta competencia. En el suelo externo a la rizósfera el principal destino del amonio es la nitrificación (Drinkwater, 2017), la cual es de dos a tres veces mayor que la inmovilización de amonio en microorganismos heterótrofos. Esta última es la vía por la cual el nitrógeno puede retenerse dentro de la biomasa microbiana. Sin embargo, si el suelo recibe mayor cantidad de carbono, este puede sostener una mayor proporción de microorganismos heterótrofos que asimilen el nitrógeno. Incluir plantas perennes en el cultivo podría ser otra tecnología procesual. Estas tienen sistemas radiculares extensos que por su fenología permanecen en el suelo a lo largo de varios ciclos de cultivo. Incluir las trae diversos beneficios como reducir la erosión del suelo, acceder a zonas más profundas para extraer nutrientes y agua, aumentar la materia orgánica y proveer un hábitat a los microorganismos, lo cual es de especial importancia en los periodos entre cultivos.

Otra tecnología acorde a una ontología procesual sería el aprovechamiento de la fijación biológica de nitrógeno. Como sabemos la reacción mediada por la nitrogenasa para romper el triple enlace de la molécula de nitrógeno gaseoso requiere mucha energía. Por ello, la disponibilidad de carbono también influye en la capacidad de las bacterias diazótrofes del suelo de fijar el nitrógeno. Los cálculos teóricos indican que la retención del rastrojo de un cultivo de trigo con un rendimiento de 2 t/ha podría sostener la producción de 50150 kg de N/ha si fuera utilizado enteramente para la fijación de N (Drinkwater, 2017). Agregar materia orgánica y mantener el suelo cubierto con cultivos de cobertura (cover crops) entre ciclos de cultivo también favorece la fijación. Y por otro lado, la falta de materia orgánica puede limitar esta función ecosistémica agravando la dependencia a fertilizantes minerales, con su consiguiente dependencia al mercado y a la agroindustria.

Una forma de aprovechar la fijación biológica de nitrógeno es sembrando legumbres. Sin embargo, las legumbres que se cosechan como granos se llevan aproximadamente la misma cantidad de nitrógeno que fijan (Drinkwater, 2017), así es que, si bien no restan este nutriente del suelo, tampoco lo enriquecen. Hay otras legumbres que se siembran como abonos verdes y se incorporan al suelo en su momento de mayor biomasa, pero no generan un producto para consumo. También existen legumbres que sirven para las dos funciones, generan algún producto cosechable pero también residuos que mejoran la calidad del suelo. Estos cultivos no producen rendimientos en cosecha tan altos ya que parte de la biomasa y la nutrición se quedan

en el suelo. Sin embargo, son una buena alternativa para ir construyendo fertilidad y al mismo tiempo generar algún ingreso para el agricultor. Ejemplos de estas legumbres son guandú (*Cajanus cajan*), soya para forraje y mucuna (Drinkwater, 2017). En la generación de variedades comerciales se ha priorizado maximizar la cosecha, por ejemplo, en nuevas variedades de guandú que son de muy corta duración. El problema de este enfoque es que se reducen los beneficios que estos cultivos dan al suelo. De nuevo podemos observar el contraste entre tecnología procesual, que tiene un objetivo a largo plazo de construir fertilidad en el suelo aprovechando sus procesos, y una tecnología basada en objetos.

Esta diferencia también se aprecia en las métricas que se usan desde cada una de estas ontologías para evaluar la aplicación de las tecnologías. La eficiencia en el uso de nutrientes en la agricultura industrial suele medirse como rendimiento por unidad de fertilizante, por ejemplo, kg de algodón/kg de N agregado en forma de fertilizante mineral. Evidentemente esta medición sólo toma en cuenta un único ciclo de cultivo y no considera la construcción de fertilidad en el suelo, la retención de los nutrientes en diferentes formas orgánicas. Esta métrica es el producto y a la vez produce una visión inmediata de la nutrición vegetal que no toma en cuenta el largo plazo. Una forma más procesual de medir la eficiencia del uso de nutrientes, que tome en cuenta el largo plazo y los ciclos biogeoquímicos, integra no sólo la producción sino también la retención de nutrientes en el suelo.

De manera general la tecnología basada en una visión procesual del suelo buscaría entender el agroecosistema para saber cómo manipular sus procesos. Un ejemplo específico podría ser quizá el manejo ecológico de nutrientes descrito anteriormente. Generar complementariedad espacial y temporal partiendo del conocimiento de que el comportamiento del agroecosistema depende del devenir en relación de sus diferentes componentes bióticos y abióticos. También buscaría generar una diversidad funcional que mantenga los procesos que conocemos como funciones ecosistémicas como el ciclado de nutrientes, el control biológico entre otras.

# Conclusiones

A pesar de que provienen de tradiciones teóricas y filosóficas diferentes: Dupré se formó como filósofo en Inglaterra, Ingold proviene de la antropología con influencias como Heidegger (Ingold, 2011), y Levins y Lewontin de la tradición marxista, los cuatro confluyen en priorizar el movimiento y el cambio. Las ontologías procesuales planteadas aquí tienen en común que no conciben las entidades como terminadas y cerradas antes de entrar en relación, sino que las relaciones las transforman y construyen. Esto por si mismo ya constituye una postura crítica al reduccionismo, el cual parte de que existen unidades mínimas atómicas y terminadas que posteriormente entran en interacción, pero estas interacciones no las cambian fundamentalmente.

Dupré hace énfasis en cómo, desde las ontologías procesuales es posible superar el reduccionismo. Desde una ontología que está basada en objetos es difícil imaginar cómo surgen cosas nuevas a niveles más altos de organización, porque los objetos de los que están contruidos ya están terminados y son estáticos antes de combinarse para formar el siguiente nivel. Pero si se piensa que lo que hay son procesos, y cada nivel de organización necesita de la actividad para seguir existiendo, no hay dificultad en pensar que esa actividad puede provenir tanto de niveles más bajos como más altos. De esta forma, los niveles más altos también tienen efecto causal sobre los más bajos. La causalidad es descendente tanto como ascendente. Un elemento necesario para esta comprensión es tener una visión diacrónica, es decir que (en oposición a lo sincrónico) no abarca sólo un instante, sino un periodo más largo de tiempo.

Desde su trinchera, Levins y Lewontin también critican el reduccionismo y muestran cómo la ontología procesual que proponen, la dialéctica marxista, también nos proporciona recursos para superar dicho reduccionismo. La lógica dialéctica (Lefebvre, 2012) es una ampliación de la lógica formal para poder aplicarla a procesos, a una realidad que es siempre cambiante, siempre en movimiento. Desde esta perspectiva, uno de los principios que necesitan revisión es el de la identidad,  $A = A$ . En un mundo procesual, A no es idéntico consigo mismo porque constantemente hay movimiento y cambio. Levins y Lewontin aplican ciertos principios de la dialéctica para hacerse preguntas y explorar su objeto de estudio. Se busca hacer referencia siempre a la totalidad relevante en cada caso. Y también se observa la

interpenetración entre diferentes niveles de organización a causa del intercambio constante entre sujeto y objeto. Es decir, de nuevo, la causalidad no va solamente de abajo hacia arriba.

Por lo anterior, las ontologías procesuales también permiten comprender cómo se tejen “lo biológico” y “lo social” en devenires biosociales que, como señala Ingold, son “biológicos hasta arriba” y “sociales hasta abajo”. Es decir, no se trata de unas “bases biológicas” sobre las que se construyan variedades sociales o culturales. Sino que lo social condiciona lo biológico tanto como lo biológico condiciona lo social. O en términos de la dialéctica marxista, ambos niveles de organización se encuentran interpenetrados. Al ser esto así, lo social ocasiona cambios en niveles de organización bajos como, en el caso del suelo, la conversión de amonio a nitrato por las bacterias nitrificantes. Negando quizá, el principio del que partimos, que hay unos niveles de organización biológicos y otros sociales, porque el devenir es “biológico hasta arriba y social hasta abajo” o en palabras de Levins y Lewontin “no es descabellado hablar del pulmón proletario”. Esto nos remite a otro principio dialéctico que es “la negación de la negación”. A diferencia de lo que ocurre en la lógica formal, la negación de la negación no nos regresa a la primera afirmación, sino que lleva a un tercer estado el sistema o el entendimiento acerca del sistema. La negación de la negación como movimiento dialéctico incorpora en sí misma el elemento de la historicidad, es decir, las condiciones son negadas como parte del cambio en el tiempo. A partir de esto se suele hablar de la metáfora del helicoides dialéctico en el que los estados de un sistema parecen volver sobre sí mismo, pero en realidad no vuelven, sino que se desarrollan, pues el punto de partida no existe más. En lo concerniente al suelo esta negación de la negación se vería en que ya no hay niveles de organización completamente separados, porque la organización a nivel social determina ciertos procesos a nivel molecular, convirtiendo el suelo en “social hasta abajo y biológico hasta arriba”.

A lo largo de este trabajo observamos que el suelo es dinámico. Sus componentes se encuentran en constante recambio. De hecho, cómo señalan tanto Dupré, como Levins y Lewontin, las “cosas” o ciertos estados de estabilidad de un sistema parecen fijos, no porque no haya cambios, sino por el contrario, porque existe un conjunto de procesos operando en distintas direcciones, cuya consecuencia es que se sostenga esa aparente quietud. Esto es a lo que Rose (1997) denomina homeodinámica. Ambas ontologías, a diferencia de la perspectiva newtoniana, sostienen que lo que necesita una explicación no es el cambio sino la estabilidad. De hecho, Dupré sostiene que en el contexto de la investigación en cáncer, la pregunta relevante no es ¿qué causa el cáncer?, sino ¿cómo se estabiliza el proceso de no tener cáncer? En nuestro caso de estudio, las moléculas orgánicas que un día están componiendo el cuerpo de un

organismo, después pasan a otro a través de las redes tróficas. Más tarde, son excretadas por el depredador y absorbidas por las raíces de una planta. El fertilizante mineral que un campesino vierte sobre el suelo, es transformado a otra composición química por las bacterias y más tarde se pierde por lixiviación u oclusión. No sólo esto, sino que el suelo requiere de la actividad para seguir existiendo. Un suelo en el que no hay suficiente actividad biológica termina degradado y erosionado. Los propios organismos del suelo no tienen límites bien definidos en el sentido que señala Dupré, lo cual, aunado al papel central de los procesos producto de la actividad biológica hacen que el propio suelo carezca de límites definidos. Esto se hace especialmente patente cuando el nitrógeno mineral que le añadimos en forma de fertilizante a los suelos agrícolas acaba perdiéndose a la atmósfera en forma de óxido nitroso o contaminando el Golfo de México en forma de nitratos.

Los procesos en el suelo dan las condiciones de posibilidad para otros procesos a niveles más altos y más bajos de organización. Estas dependencias se basan en la actividad, no son sólo estructurales. Por ejemplo, las prácticas de manejo que tienen una escala espacial a nivel agroecosistema y una escala temporal de meses, condiciona el recambio de nutrientes minerales como el  $\text{NH}_4$  a  $\text{NO}_3$ , que tiene una escala espacial microscópica y temporal de días. Y viceversa, el recambio de nutrientes minerales condiciona el manejo.

Como en el resto de los ecosistemas del planeta tierra, la interdependencia ecológica es la norma en el suelo. Tan sólo un ejemplo son los ciclos biogeoquímicos, los cuales dependen del metabolismo de toda la comunidad. Una cuestión de sumo interés para los humanos es la fertilidad del suelo, es decir, la presencia de nutrientes en formas disponibles para las plantas. Esto es de especial importancia en los suelos agrícolas, donde la actividad humana no solo es especialmente intensa, sino profundamente relacionada con la reproducción de la vida social. La fertilidad está ligada a los ciclos biogeoquímicos que necesitan como condición de existencia el movimiento. De hecho, incluso se pueden definir como el movimiento y transformación de los nutrientes dentro (y fuera del suelo), a través de las redes tróficas y otros procesos bióticos y abióticos. Si los ciclos biogeoquímicos se intentan comprender de una forma que no es diacrónica, es decir que no observa periodos de tiempo, es probable que se cometan errores. La visión agroindustrial de agregar nutrientes en forma mineral al suelo, no responde a esta visión procesual diacrónica. Toma una instantánea del estado de nutrientes disponibles en un momento pero no toma en cuenta el tránsito de los nutrientes en sus diferentes formas biológicas, orgánicas e inorgánicas y a través de diferentes localidades dentro y fuera del suelo.

La regulación de poblaciones es otro tema de interés para la producción agrícola. De hecho, la fertilidad y las plagas son las dos áreas en las que se ha concentrado la producción de insumos químicos. La agroecología voltea a ver la regulación de poblaciones en ecosistemas que no están manejados y regresa con la noción de que la biodiversidad es beneficiosa para dicha regulación. Favorece que estén presentes los enemigos naturales como depredadores, competidores, parásitos, parasitoides, etc de organismos que de otro modo pueden convertirse en plagas. También la biodiversidad sembrada (policultivo, rotaciones) puede favorecer esta regulación. El hecho de que no todos los cultivos sembrados en un campo sean hospederos de una plaga o enfermedad puede limitar su crecimiento. Este es un enfoque en el que lo importante no es sólo, ni principalmente el elemento (organismo plaga) sino las relaciones (ecológicas) entre elementos. Una característica de las ontologías procesuales revisadas en este trabajo es que se centran en la relación. En particular subrayan el hecho de que las entidades no están terminadas antes de entrar en relación, sino que las relaciones en las que entran las transforman continuamente.

Por todas estas razones consideramos que el suelo se comprende mejor como proceso que como objeto. También subrayamos el hecho de que algunos procesos que se encuentran en el nivel de organización biológico dan las condiciones para procesos sociales y viceversa. Es decir, se trata de un proceso biosocial sensu Ingold. Por ejemplo, las prácticas de manejo relacionadas con el tipo de fertilización que se utiliza en un campo vienen condicionadas por las dinámicas económicas globales. Así mismo condicionan características físicas del suelo como la compactación que va a permitir o inhibir la presencia de ciertos organismos como las lombrices. También vimos que campos con diferente manejo presentan diferentes comunidades procariotas. Estas comunidades biológicas también condicionan el suelo para la producción agrícola y el manejo. Por ejemplo, las lombrices favorecen la agregación y estructura del suelo, así como la captación de agua. De las comunidades procariotas dependen en gran parte los ciclos biogeoquímicos.

Sin embargo, no es la humanidad en abstracto la que condiciona el devenir del suelo o de “la naturaleza”, sino construcciones sociales específicas. En particular el modo de producción. Consideramos que el error en el término “antropoceno” es afirmar que la humanidad en abstracto está ahora marcando los cambios a escala geológica. Se trata de una forma específica de organizar este intercambio y transformación de materia y energía, que toma materiales de la biogeosfera para convertirlos en mercancía y CO<sub>2</sub>. Retomamos a Bolívar Echeverría (1998) quien señala que el absurdo es que lo que dirige este metabolismo sociedad-

naturaleza, es decir el intercambio de materia y energía con el suelo, los ecosistemas, el subsuelo, la atmósfera, no es la satisfacción de necesidades humanas sino el mercado. En última instancia lo que determina la magnitud y forma del impacto de la actividad humana sobre el planeta es la acumulación del capital.

Por esto, consideramos que al menos en lo que respecta al suelo, la crítica marxista al capitalismo ofrece recursos que complementan y enriquecen a las ontologías procesuales en la tarea de describir la relación naturaleza-sociedad. Por otro lado, la noción de “ruptura metabólica” ha sido muy útil para la labor de Foster y colaboradores. Ellos mostraron una estructura en Marx que lo alejan del Marx positivista y prometeico, como suele presentarse por ejemplo por la feminista marxista Silvia Federici (Federici, 2018)

Con todo, la visión prometeica del desarrollo tecnológico defendida por Marx y la tradición marxista al completo, lejos de perder su atractivo, está volviendo, y hay quienes consideran que la tecnología digital cumple el mismo papel emancipador que Marx asignó a la automatización (...)(Federici, 2018).

O simplemente la falta de una aproximación integral al aspecto ecológico, como señalan ecosocialistas como Michael Löwy y Ted Benton (Burkett, 2014)

El renombrado erudito marxista Michael Löwy, por ejemplo, sugiere que "en El Capital se pueden encontrar aquí y allá referencias al agotamiento de la naturaleza por el capital" pero que "Marx no posee una perspectiva ecológica integrada" (Burkett, 2014).

También consideramos que es de utilidad en la tarea de articular la crítica anticapitalista de Marx, con las preocupaciones por el ambiente y la sostenibilidad que actualmente son ubicuas. Pero consideramos que puede sugerir una idea de equilibrio que es problemática desde una perspectiva dialéctica o procesual. Este es un punto en el que la crítica marxista al capitalismo de Foster y colaboradores puede ser complementada y enriquecida con un enfoque del devenir biosocial.

En este trabajo se han presentado propuestas teóricas que critican la dicotomía naturaleza/sociedad. Ingold lo hace desde una visión del desarrollo (ontogénico) y Levins y Lewontin desde la dialéctica. Cabe señalar que el hecho de que estas categorías no puedan concebirse como separadas e independientes no significa que “todo es uno”. Levins y Lewontin (2007) critican tanto el reduccionismo como el holismo. Lo biológico y lo social pueden seguir siendo categorías útiles para el análisis. Sin embargo, sostenemos que es más útil todavía si se reconoce su interpenetración, y cómo aspectos de ambos lados de esta dicotomía se trenzan en los procesos del mundo y de la vida. Consideramos que, al menos en el caso del suelo, las

herramientas que se han revisado en este trabajo nos permiten superar esta visión dicotómica en favor de una visión procesual dialéctica.

La propuesta presentada en este trabajo puede proporcionar herramientas teóricas para pasar de concebir la única relación posible con el suelo la de ser consumidores a concebirse como constructores de suelo. Como se afirmó en el capítulo 3, de cualquier forma estamos construyendo un suelo pero la pregunta es ¿Qué suelo estamos construyendo? ¿Uno favorable para nuestra vida y nuestro proyecto de vida o lo contrario? Esta perspectiva pone en el centro la agencia humana, en cierta forma propone ser sujetos de nuestra construcción de suelo. Pero, en el momento actual, cuando el mercado es el sujeto del metabolismo naturaleza-sociedad ¿Cómo podemos ser sujetos de la construcción de suelo si el sujeto es el mercado? ¿Qué cambios implicaría en nuestra organización social el hacernos sujetos de nuestra construcción biosocial del suelo? Es decir, el decidir consciente y colectivamente qué suelo queremos construir y cómo podemos construirlo. La problemática planteada en este trabajo se relaciona, por supuesto, con el tema tan visitado actualmente de la “sustentabilidad” o “sostenibilidad”. Una pregunta a futuro sería ¿qué es lo que se busca “sostener” con la sostenibilidad? ¿Se trata de la vida humana en abstracto o de una forma específica de producir y reproducirla? ¿Se trata de sostener la acumulación de capital o sostener la vida?

Un proyecto de investigación que podría derivarse de este trabajo sería analizar desde esta propuesta de construcción biosocial del suelo, las transformaciones en zonas específicas a lo largo de transiciones entre regímenes de organización de la producción y consumo de alimentos.

# Referencias bibliográficas

- Aguirre-Von-Wobeser, E., Rocha-Estrada, J., Shapiro, L. R., & De La Torre, M. (2018). Enrichment of Verrucomicrobia, Actinobacteria and Burkholderiales drives selection of bacterial community from soil by maize roots in a traditional milpa agroecosystem. *PLoS ONE*, 13(12), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208852>
- Allen, M. F. (2007). Mycorrhizal Fungi: Highways for Water and Nutrients in Arid Soils. *Vadose Zone Journal*, 6(2), 291-297. <https://doi.org/10.2136/vzj2006.0068>
- Altieri, Miguel (2000) “Ecological impacts of industrial agriculture and the possibilities for truly sustainable farming” En Magdoff, Foster, Buttell (2000) *Hungry for profit*. Monthly review press. NY.
- Altieri & Nicholls. (2002). Ecologically Based Pest Management: A Key Pathway to Achieving Agroecosystem Health. En *Managing for Healthy Ecosystems*. CRC Press.
- Arias, H. O. R., Vega, L. De, Ruiz, O., & Wood, K. (1999). Differential modulation response and biomass yield of Alexandria clover as affected by levels of inorganic nitrogen fertilizer. *Journal of Plant Nutrition*, 22(8), 1233–1239. <https://doi.org/10.1080/01904169909365708>
- Bakker, P., Pieterse, C., Jonge, R. de, & Berendsen, R. (2018). The Soil-Borne Legacy. *Cell*, 172(6), 1178–1180. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.024>
- Barkow, J. H., Cosmides, L., & Tooby, J. (Eds.). (1992). *The Adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*. Oxford University Press.
- Barnes, B., & Dupré, J. (2008). *Genomes and what to make of them*. University of Chicago Press.
- Bhatti AA, Haq S, Bhat RA. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Microb Pathog*. 2017 Oct;111:458-467. doi: 10.1016/j.micpath.2017.09.036. Epub 2017 Sep 18. PMID: 28923606.
- Benbrook, C.M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environ Sci Eur* 28, 3 (2016). <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>

- Berlan, Jean-Pierre y Lewontin, Richard. (1998) "Operation terminator". Le Monde diplomatique. Diciembre 1998
- Bindraban, Prem S , Marijn van der Velde, Liming Ye, Maurits van den Berg, Simeon Materechera, Delwendé Innocent Kiba, Lulseged Tamene, Kristín Vala Ragnarsdóttir, Raymond Jongschaap, Marianne Hoogmoed, Willem Hoogmoed, Christy van Beek, Godert van Lynden (2012) Assessing the impact of soil degradation on food production. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Volume 4, Issue 5
- Burkett, P. (2014). Marx and nature: A red and green perspective. Haymarket Books.
- Catarino, R., Ceddia, G., Areal, F.J. and Park, J. (2015), The impact of secondary pests on *Bacillus thuringiensis* (Bt) crops. *Plant Biotechnol J*, 13: 601-612. <https://doi.org/10.1111/pbi.12363>
- Cargill Worldwide. (2021). Cargill. Retrieved November 21, 2021, from <https://www.cargill.com/page/worldwide>
- Corn Flour. (2021). Corn Flour | Cargill Mexico. Retrieved November 21, 2021, from <https://www.cargill.com.mx/en/corn-flour>
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1994). *Better than rational: Evolutionary psychology and the invisible hand*. *The American Economic Review*, 84, 327-332.
- Darwin, C. (1881). *The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms, with Observations on their Habits*. Cambridge.
- Dawkins, R. (2006). *The selfish gene* (30th anniversary ed). Oxford University Press.
- Denison, R. F., & Harter, B. (1995). *Nitrate Effects on Nodule Oxygen Permeability and Leghemoglobin Nodule Oximetry and Computer Modeling*. 1995.
- Díaz, Robert y Rosemberg, Rutger (2008) Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*. 321, 926.
- Drinkwater, L. E., Schipanski, M., Snapp, S., & Jackson, L. E. (2017). Ecologically Based Nutrient Management. In *Agricultural Systems: Agroecology and Rural Innovation for Development* (Second Edi, pp. 203–258). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802070-8.00007-4>

- Duke, S.O. and Powles, S.B. (2008), Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest. Manag. Sci.*, 64: 319-325. <https://doi.org/10.1002/ps.1518>
- Dupré, J. (1993). *The disorder of things: Metaphysical foundations of the disunity of science*. Harvard University Press.
- Dupré, J. (2014). *Processes of life: Essays in the philosophy of biology*. Oxford University Press.
- Dupré, J. y Nicholson, D. J. (2018) “A Manifesto for a Processual Philosophy of Biology” en Nicholson D. J. y Dupré J. (ed.) *Everything Flows*. Oxford university press. UK.
- Dupré, J. (2019) *Why there are no living things*. The Van Leer Jerusalem Institute. <https://www.youtube.com/watch?v=ZhcZxmLkGHI&t=3302s>
- Echeverría, Bolívar (1998) *La contradicción del valor y el calor de uso en el capital de Karl Marx*. Editorial Itaca. México
- Environmental Science Program, Division of Science and Technology, China, Daniel Tang, K. H., Yap, P.-S., & Department of Civil Engineering, Xi'an Jiaotong-Liverpool University, Suzhou, China. (2020). *A Systematic Review of Slash-and-Burn Agriculture as an Obstacle to Future-Proofing Climate Change*. 01-19. <https://doi.org/10.17501/2513258X.2020.4101>
- FAO (2022) *The State Of The World's Land And Water Resources For Food And Agriculture 2021*. Roma.
- Federal court of Canada. [Monsanto Canada Inc. v. Schmeiser Date: 20010329 Docket: T-1593-98](#) Retrieved 26-Mar-2006.
- Federici, Silvia (2020) *Calibán y la bruja*. Traficantes de sueños. México
- Federici, Silvia (2018) *El patriarcado del salario*. Traficantes de sueños. Madrid
- Flynn, E. G., Laland, K. N., Kendal, R. L., & Kendal, J. R. (2013). Developmental niche construction. *Developmental Science*, 16(2), 296–313. <https://doi.org/10.1111/desc.12030>
- Ford, Anabel y Nigh, Ronald (2015) *The maya forest garden*. Left coast press. USA
- Foster, J. B. (2000). *Marx's ecology*. NY: Monthly Review Press. NY.

- Foster, J. B. y Magdoff, Fred (2000) “Liebig, Marx, and the depletion of soil fertility: relevance for today’s agriculture.” En Magdoff, Foster, Buttell (2000) *Hungry for profit*. Monthly review press. NY.
- Fred, E. B., & Graul, E. J. (1916). The Effect of Soluble Nitrogenous Salts on Nodule Formation. *Journal of American Society of Agronomy*.
- Fuentes Ponce, M., Moreno Espíndola, P. I., Sánchez Rodríguez, L. M., Ferrara Guerrero, M., & Reyes, L.-O. (2016). Dehydrogenase and mycorrhizal colonization: Tools for monitoring agrosystem soil quality. *Applied Soil Ecology*, 100, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.12.011>
- Galvez, L., Douds, D. D., Drinkwater, L. E., & Wagoner, P. (2001). Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize. *Plant and Soil*, 228(2), 299–308. <https://doi.org/10.1023/A:1004810116854>
- Garrapa, A. M. (2017). Corporate Food Regime y jornaleros inmigrantes en la recolección de fresas en California. *Norteamérica, Revista Académica Del CISAN-UNAM*, 12(1), 233-266. <https://doi.org/10.20999/nam.2017.a008>
- Garrapa, Anna Mary. (2018) «Supermarket revolution y agricultura californiana: ¿un modelo en expansión?.» *Interdisciplina* 6, n° 14 (enero–abril 2018): 155-176.
- Gilbert, S. F., & Epel, D. (2009). Ecological Developmental Biology. In *Ecological Developmental Biology*. Sinauer Associates, Inc.
- Goodman. (2010, septiembre 17). Percy Schmeiser vs Monsanto: The Story of a Canadian Farmer’s Fight to Defend the Rights of Farmers and the Future of Seeds. *Democracy Now*.  
[https://www.democracynow.org/2010/9/17/percy\\_schmeiser\\_vs\\_monsanto\\_the\\_story](https://www.democracynow.org/2010/9/17/percy_schmeiser_vs_monsanto_the_story)
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., & Bending, G. D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1-4), 17-35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.009>
- Griffiths, P., Stotz, K., (2018) “Developmental Systems Theory as a Process Theory” en Nicholson D. J. y Dupré J. (ed.) *Everything Flows*. Oxford university press. UK.

- Gliessman, Stephen (2007) *Agroecology The ecology of sustainable food systems*. CRC Press Taylor and Francis Group. Boca Raton, Florida, EU.
- Gryndler, M., Larsen, J., Hřselová, H., Řezáčová, V., Gryndlerová, H., & Kubát, J. (2006). Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. *Mycorrhiza*, 16(3), 159–166. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0027-4>
- Gupta, M., Prasad, N. G., Dey, S., Joshi, A., & Vidya, T. N. C. (2017). Niche construction in evolutionary theory: The construction of an academic niche? *Journal of Genetics*, 96(3), 491-504. <https://doi.org/10.1007/s12041-017-0787-6>
- Hakim, D. (2017, September 21). Monsanto's Weed Killer, Dicamba, Divides Farmers. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2017/09/21/business/monsanto-dicamba-weed-killer.html>
- Heffernan, W. (2000) “Concentration of ownership and control in agriculture” en Magdoff, Foster, Buttel. *Hungry for Profit*. Monthly Review Press. NY
- Hernández Xolocotzi, Efraím. (1995). La milpa en Yucatán: Un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados.
- Hsieh, H. Y., Liere, H., Soto, E. J., & Perfecto, I. (2012). Cascading trait-mediated interactions induced by ant pheromones. *Ecology and Evolution*, 2(9), 2181–2191. <https://doi.org/10.1002/ece3.322>
- Ingold, T. (2001) “From Complementarity to Obviation: On Dissolving the Boundaries between Social and Biological Anthropology, Archaeology, and Psychology” en Oyama, S., Griffiths, P., Gray, R. (ed). *Cycles of contingency*. MIT Press. USA.
- Ingold, T. (2004) Beyond biology and culture. The meaning of evolution in a relational world. *Social Anthropology*, 12(2), 209–221. <https://doi.org/10.1017/S0964028204000291>
- Ingold, T. (2011). *Being alive*. Routledge.
- Ingold, T. (2013) “Prospect” en Ingold, T., & Palsson, G (ed.) *Biosocial Becomings*. Cambridge university press. UK.
- Jardón, Lev (2019) “Las semillas de los cultivos en la reproducción de la vida social: dimensión política y enajenación capitalista” en Lomelí y Olvera. *Enajenación, modernidad y capitalismo*. Bonilla Artiga Editores y UAEM, México

- Jha, S., Allen, D., Liere, H., Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2012). Mutualisms and population regulation: Mechanism matters. *PLoS ONE*, 7(8), 3–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043510>
- Johnson, N. C. (1993). Can Fertilization of Soil Select Less Mutualistic Mycorrhizae ? Author ( s ): Nancy Collins Johnson Reviewed work ( s ): Published by : Ecological Society of America Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1942106> . *Ecological Applications*, 3(4), 749–757.
- Jones, J. D. G., & Dangl, J. L. (2006). The plant immune system. *Nature*, 444(7117), 323–329. <https://doi.org/10.1038/nature05286>
- Jonsson, M., Buckley, H. L., Case, B. S., Wratten, S. D., Hale, R. J., & Didham, R. K. (2012). Agricultural intensification drives landscape-context effects on host-parasitoid interactions in agroecosystems: Land-use intensity decreases parasitism rates. *Journal of Applied Ecology*, no-no. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02130.x>
- Kiers, E. T., Hutton, M. G., & Denison, R. F. (2007). Human selection and the relaxation of legume defences against ineffective rhizobia. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1629), 3119–3126. <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1187>
- Kiers, E. T., West, S. A., & Denison, R. F. (2002). Mediating mutualisms: Farm management practices and evolutionary changes in symbiont co-operation. *Journal of Applied Ecology*, 39(5), 745–754. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00755.x>
- Kim, J. (2006). Emergence: Core ideas and issues. *Synthese*, 151(3), 547-559. <https://doi.org/10.1007/s11229-006-9025-0>
- Kloppenburg, J. R. (2004). *First the Seed: The Political Economy of Plant Biotechnology*. University of Wisconsin Press.
- Laland, & Brien. (2012). Cultural Niche Construction: An Introduction. <https://doi.org/10.1007/s13752-012-0026-6>
- Laland, K. N., & Odling-smee, J. (2005). On the Breadth and Significance of Niche Construction : A Reply to Griffiths , Okasha and Sterelny. *Biology & Philosophy*, 37–55. <https://doi.org/10.1007/s10539-004-6834-8>

- Laland, K. N., Odling-Smee, J., Hoppitt, W., & Uller, T. (2013a). More on how and why: Cause and effect in biology revisited. *Biology and Philosophy*, 28(5), 719–745. <https://doi.org/10.1007/s10539-012-9335-1>
- Laland, K. N., Sterelny, K., Odling-Smee, J., Hoppitt, W., & Uller, T. (2011). Cause and Effect in Biology Revisited: Is Mayr's Proximate-Ultimate Dichotomy Still Useful? *Science*, 334(6062), 1512–1516. <https://doi.org/10.1126/science.1210879>
- Laland, K., Uller, T., Feldman, M., Sterelny, K., Müller, G. B., Moczek, A., Jablonka, E., Odling-Smee, J., Wray, G. A., Hoekstra, H. E., Futuyma, D. J., Lenski, R. E., Mackay, T. F. C., Schluter, D., & Strassmann, J. E. (2014). Does evolutionary theory need a rethink? *Nature*, 514(7521), 161-164. <https://doi.org/10.1038/514161a>
- Laland, Odling-Smee, J., Hoppitt, W., & Uller, T. (2013b). More on how and why: a response to commentaries. *Biology & Philosophy*, 28(5), 793–810. <https://doi.org/10.1007/s10539-013-9380-4>
- Lara Ponce, E., Caso Barrera, L., & Aliphath Fernández, M. (2012). El sistema milpa roza, tumba y quema de los maya itzá de San Andrés y San José, Petén Guatemala. *Ra Ximhai*, 71-92. <https://doi.org/10.35197/rx.08.02.e.2012.06.el>
- Larsen, J., Jaramillo-López, P., Nájera-Rincon, M., & González-Esquivel, C. E. (2015). Biotic interactions in the rhizosphere in relation to plant and soil nutrient dynamics. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(2), 449–463. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162015005000039>
- Leach, J. E., Triplett, L. R., Argueso, C. T., & Trivedi, P. (2017). Communication in the Phytobiome. *Cell*, 169(4), 587–596. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.04.025>
- Lefebvre, Henri (2012) *Lógica formal, lógica dialéctica*. Siglo veintiuno editores. Ciudad de México
- Levins, R., (2010) “Why Programs Fail”, *Monthly Review*: March 2010.
- Levins, R., & Lewontin, R. (1985). *The Dialectical Biologist*. AAKAR. <https://doi.org/10.2307/2185292>
- Levins, R., & Lewontin, R. C. (2007). *Biology under the influence*.

- Lewontin, R. & Berlan, Jean-Pierre (1986) “Technology, research, and the penetration of capital: the case of U.S. agriculture”, *Monthly Review* Vol. 38, No. 3: Julio - Agosto
- Lewontin, R. & Berlan, Jean-Pierre (1986) “The Political Economy of Hybrid Corn” *Monthly Review* Vol. 38, No. 3: Julio - Agosto
- Lewontin R. (1991) *Biology as ideology*. Harper perennial. NY.
- Lewontin, R. (2000) “The maturing of capitalist agriculture: farmer as proletarian”. en Magdoff, Foster, Buttel. *Hungry for Profit*. Monthly Review Press. NY
- López-Carmona, D. A., Alarcón, A., Martínez-Romero, E., Peña-Cabriales, J. J., & Larsen, J. (2019). Maize plant growth response to whole rhizosphere microbial communities in different mineral N and P fertilization scenarios. *Rhizosphere*, 9(November 2018), 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.11.004>
- Lynch, J. M. (2012). Rhizosphere. In *ELS* (Issue 2002, p. 10). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0000403.pub2>
- Mäder, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A., & Niggli, U. (2000). Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility of Soils*, 31(2), 150–156. <https://doi.org/10.1007/s003740050638>
- Magdoff, F., Foster, J., & Buttel, F. (2000) *Hungry for Profit*. Monthly Review Press. NY
- Magdoff, F., & Van Es, H. (2009). Building Soils for Better Crops. In *Soil Science*. SARE. <https://doi.org/10.1097/00010694-199311000-00014>
- Magdoff, F., Foster, J. B., & Buttel, F. H. (Eds.). (2000). *Hungry for profit: The agribusiness threat to farmers, food, and the environment*. Monthly Review Press.
- Mailafiya, D. M. (2015). Agrobiodiversity for Biological Pest Control in Sub-Saharan Africa. En E. Lichtfouse (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (Vol. 18, pp. 107-143). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21629-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21629-4_4)
- Marx, Karl (1976) *Capital*, vol. 1. Vintage. Nueva York

- Marx, K. (2018). La tecnología del capital: Subsunción formal y subsunción real del proceso de trabajo al proceso de valorización (Extractos del Manuscrito 1861-1863) (B. Echeverría, Ed.). Editorial ITACA.
- Maté, G. (2009). In the Realm of Hungry Ghosts: Close Encounters with Addiction: Vintage Canada.
- Moreno-Espíndola, I. P., Ferrara-Guerrero, M. J., Luna-Guido, M. L., Ramírez-Villanueva, D. A., De León-Lorenzana, A. S., Gómez-Acata, S., González-Terreros, E., Ramírez-Barajas, B., Navarro-Noya, Y. E., Sánchez-Rodríguez, L. M., Fuentes-Ponce, M., Macedas-Jiménez, J. U., & Dendooven, L. (2018). The bacterial community structure and microbial activity in a traditional organic milpa farming system under different soil moisture conditions. *Frontiers in Microbiology*, 9(NOV), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02737>
- Murphy, A. (2020, Noviembre 23). America's Largest Private Companies 2020: Koch Industries At No. 1 For First Time In 13 Years. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/andreamurphy/2020/11/23/americas-largest-private-companies-2020-koch-industries-at-no-1-for-first-time-in-13-years/?sh=9c1786fa5f87>
- Nigh, R., & Diemont, S. A. (2013). The Maya milpa: Fire and the legacy of living soil. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(s1). <https://doi.org/10.1890/120344>
- Noble D. (2012). A theory of biological relativity: no privileged level of causation. *Interface focus*, 2(1), 55–64. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2011.0067>
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., & Wiemken, A. (2004). Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*, 138(4), 574–583. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1458-2>
- Ollman, B. (1998). Why Dialectics? Why Now? *Science & Society*, 62(3), 338-357. JSTOR.
- Osborne (2005) *How to read Marx*. W. W. Norton and company. USA
- Ovsepyan, L., Kurganova, I., Lopes de Gerenyu, V., & Kuzyakov, Y. (2020). Conversion of cropland to natural vegetation boosts microbial and enzyme activities in soil. *Science of the Total Environment*, 743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140829>
- Oyama, S. (2000). *The Ontogeny of Information*. Duke University Press.

- Oyama, S., Griffiths, P., Gray, R. (2001) “Introduction: What Is Developmental Systems Theory?” en Oyama, S., Griffiths, P., Gray, R. (ed). *Cycles of contingency*. MIT Press. USA.
- Palm, C. A. (2005). *Slash-and-burn agriculture: The search for alternatives*. Columbia University Press.
- Pallot, Richard. “Revealed: Amazon destroying millions of items of unsold stock in UK every year.” *ITV*, 22 June 2021, <https://www.itv.com/news/2021-06-21/amazon-destroying-millions-of-items-of-unsold-stock-in-one-of-its-uk-warehouses-every-year-itv-news-investigation-finds>. Consultado 30 March 2022.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., & Wright, A. (2009). *Nature’s Matrix Linking agricultures, conservation and food sovereignty*. London: Earthscan.
- Powles, S.B. (2008), Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest. Manag. Sci.*, 64: 360-365. <https://doi.org/10.1002/ps.1525>
- Ravelo-Ortega, G., Raya-González, J., & López-Bucio, J. (2023). Compounds from rhizosphere microbes that promote plant growth. *Current Opinion in Plant Biology*, 73, 102336. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102336>
- Raymaekers, K., Ponet, L., Holtappels, D., Berckmans, B., & Cammue, B. P. A. (2020). Screening for novel biocontrol agents applicable in plant disease management – A review. *Biological Control*, 144(September 2019), 104240. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104240>
- Rockström, Johan & Steffen, W. & Noone, Kevin & Persson, Åsa & Chapin III, F Stuart & Lambin, E.F. & Lenton, T. & Scheffer, M. & Folke, Carl & Schellnhuber, Hans & Nykvist, Björn & de Wit, Cynthia & Hughes, Terence & Van der Leeuw, Sander & Rodhe, H. & Sörlin, Sverker & Snyder, P. & Costanza, Robert & Svedin, Uno & Foley, J.. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, v.461, 472-475. 46.
- Rose, S. (1998) *Lifelines - Biology beyond determinism*. NY: Oxford university press.
- Royle, C. (2018) *Dialectical Biology A Marxist Approach to Nature and Agency in the Anthropocene*. Tesis doctoral. King’s College London

- Saitō, K. (2017). Karl Marx's ecosocialism: Capitalism, nature, and the unfinished critique of political economy. Monthly Review Press.
- Sánchez, A. (2018, November 9). Cargill va por tres empresas en México. *El Financiero*.  
<https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/cargill-va-por-tres-empresas-en-mexico/>
- Sánchez-Ortiz, K. (2019). *Efecto de tres manejos agrícolas en la dinámica de carbono y nitrógeno del suelo en la región del Bajío, Guanajuato*. UNAM.
- Seibt, Johanna, "Process Philosophy", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2022 Edition), Edward N. Zalta (ed.),  
<https://plato.stanford.edu/archives/sum2022/entries/process-philosophy/>.
- SEMARNAT (2018, 07 de julio), *Suelos, sostén de la vida humana*.  
<https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/suelos-de-importancia-crucial-para-la-vida-humana-y-la-biodiversidad?idiom=es>
- Shenon, P. (1995, December 10). A Pacific Island Nation Is Stripped of Everything (Published 1995). *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/1995/12/10/world/a-pacific-island-nation-is-stripped-of-everything.html>
- Streeter, J., Wong, P. P., & Streeter, J. (2008). *Critical Reviews in Plant Sciences Inhibition of legume nodule formation and N<sub>2</sub> fixation by nitrate*. 2689.  
<https://doi.org/10.1080/07352688809382257>
- Sultan, S. E. (2015). *Organism & environment*. Oxford university press. UK.
- Sultan, S. E. (2017). Developmental plasticity: Re-conceiving the genotype. *Interface Focus*, 7(5). <https://doi.org/10.1098/rsfs.2017.0009>
- Surwit, R. S., Schneider, M. S., & Feinglos, M. N. (1992). Stress and Diabetes Mellitus. *Diabetes Care*, 15(10), 1413-1422. <https://doi.org/10.2337/diacare.15.10.1413>
- Toledo, V. M., Garrido, D., & Barrera-Basols, N. (2013). Conflictos socioambientales, resistencias ciudadanas y violencia neoliberal en México. *Ecología Política*, 46, 115–124. <http://www.jstor.org/stable/43526896>
- Vandermeer, J. (2011). *The ecology of agroecosystems*. Sudbury, Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers.

- Vargas, R., & Hattori, T. (1986). Protozoan predation of bacterial cells in soil aggregates. *FEMS Microbiology Letters*, 38(4), 233-242. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1986.tb01733.x>
- Vargas, M. A. T., Mendes, I. C., & Hungria, M. (2000). Response of field-grown bean ( *Phaseolus vulgaris* L .) to Rhizobium inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. *Biology and Fertility of Soils*, 32, 228–233.
- Waddington, C. H. (1940). Organisers and genes. London: Cambridge university press.
- Waddington, C. H. (1942). Canalization of Development and the inheritance of acquired characters. *Nature*, 150, 563–565.
- 95
- Waddington, C. H. (1961). *The Nature of Life*. George Allen & Unwin Ltd.
- Waddington, C. H. (1975). *The evolution of an evolutionist* (1st ed.). NY: Cornell University Press.
- Wright, D. A., Killham, K., Glover, L. A., & Prosser, J. I. (1995). Role of Pore Size Location in Determining Bacterial Activity during Predation by Protozoa in Soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(10), 3537-3543. <https://doi.org/10.1128/aem.61.10.3537-3543.1995>