

ISSN: 2961-287X

RICCE

***Revista Iberoamericana
de Complejidad y Ciencias
Económicas***

Vol. 4 Núm. 1(2026)



En alianza con:



REVISTA IBEROAMERICANA DE COMPLEJIDAD Y CIENCIAS ECONÓMICAS

Vol 4 No. 1 – Marzo 2026.

Editado por:

Universidad La Salle

RUC: 20456344004

Av. Alfonso Ugarte 517, Cercado, Arequipa, Perú

ISSN: 2961-287X

Depósito Legal No. 2023-08579

Publicación cuatrimestral

DOI: 10.48168/RICCE.v4n1

EQUIPO EDITORIAL

EDITOR EN JEFE

Dr. Glenn Roberto Arce Larrea (Perú) Universidad La Salle, <https://orcid.org/0000-0002-6949-9001>

EDITORES ASOCIADOS

Dr. Leonardo G. Rodríguez Zoya (Argentina) Universidad de Buenos Aires, <https://orcid.org/0000-0002-7304-2338>

Dr. Rafael Fernando Sánchez Barreto (México) <https://orcid.org/0000-0001-7525-9306>

Dr. Ricardo Fernando Rosales Cisneros (México) Universidad Autónoma de Baja California, <https://orcid.org/0000-0002-0266-2951>

Dra. Taeli Gomez Francisco (Chile) Universidad de Atacama <https://orcid.org/0000-0001-8081-1417>

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Carlos Alberto Flores Sánchez (México) Universidad Autónoma de Baja California, <https://orcid.org/0000-0003-1516-166X>

Dr. Eligio Cruz Leandro (México) Universidad Nacional Autónoma de México, <https://orcid.org/0000-0002-0538-3894>

Dr. José Guadalupe Ramírez Durán (México) Universidad La Salle Bajío México, <https://orcid.org/0000-0002-6287-7022>

Dr. Josué Miguel Flores Parra (México), <https://orcid.org/0000-0003-1424-4498>

Dr. Nelson Alfonso Gómez Cruz (Colombia) Colegio de Estudios Superiores de Administración, <https://orcid.org/0000-0001-9594-1441>

Dr. José Manuel Patricio Quintanilla Paulet (Perú) Universidad La Salle, <https://orcid.org/0000-0002-3700-3163>

Dra. Margarita Ramírez Ramírez (México) Universidad Autónoma de Baja California, <https://orcid.org/0000-0001-9594-1441>

Dra. María del Consuelo Salgado Soto (México) Universidad Autónoma de Baja California, <https://orcid.org/0000-0003-2939-9388>

Dra. María Nely Vásquez Pérez (España) Universidad Deusto, <https://orcid.org/0000-0002-0879-5309>

Dra. Nora del Carmen Osuna Millan (México) Universidad Autónoma de Baja California, <https://orcid.org/0000-0001-5719-7682>

Dra. Wendy Ugarte Mejía (Perú) Universidad Nacional de San Agustín, <https://orcid.org/0000-0003-2185-5887>

Dr. Yásiel Pérez Vera (Cuba) Universidad Nacional de San Agustín <https://orcid.org/0000-0001-9421-9529>

Econ. Angela Daniela Portugal Pacheco (Perú) Municipalidad Distrital de Cerro Colorado, <https://orcid.org/0000-0003-3096-3740>

EDICIÓN Y DISEÑO

Universidad La Salle (Arequipa)

EN ALIANZA CON

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA (MÉXICO)
ACADEMIA HISPANOAMERICANA DE LA COMPLEJIDAD

ricce@ulasalle.edu.pe
<https://revistas.ulasalle.edu.pe/ricce>

ÍNDICE

- 05** EDITORIAL
Rodrigo Arce Rojas
- 09** UN ÁRBOL, UN BOSQUE: LA CUNA DE LA EXPERIENCIA HUMANA
Carlos Eduardo Maldonado
- 27** ¿ESTÁ LA SOCIEDAD HUMANA ASEMEJÁNDOSE MÁS A LAS DE LOS INSECTOS?
Marc J. Dourojeanni
- 67** ALGUNOS PROBLEMAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA MAGNITUD DE UN IMPACTO EN LOS EIA (ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL) A PARTIR DE LA CONDICIÓN DE SISTEMA COMPLEJO ADAPTATIVO DE LOS SISTEMAS AMBIENTALES
Edgar Sánchez
- 87** LO QUE LOS FORESTALES PUEDEN APRENDER DE LA FILOSOFÍA DE LA VIDA VEGETAL
Rodrigo Arce Rojas
- 113** PROCESOS DE GÉNESIS Y ONTOGENIA EN LA COMPLEJIDAD DE UN ECOSISTEMA FORESTAL
Benedicto Baca Rosado

EDITORIAL

El presente dossier está dedicado a la Complejidad de la Biología y de las Ciencias Forestales que en el caso peruano está apenas esbozado aunque existen valiosas iniciativas personales que son importantes a destacar. Es propósito de este dossier dar a conocer el trabajo investigadores peruanos e invitar a la comunidad académica a profundizar en estos temas. Nos hubiera gustado contar con aportes de mujeres pero no hubo respuesta a la convocatoria.

La complejidad, es sus vertientes de Pensamiento Complejo y Ciencias de la Complejidad, ofrece una perspectiva diferente al dualismo, determinismo, reduccionismo y mecanicismo propios de la ciencia clásica. Es por ello que se puede afirmar que la epistemología de la complejidad permite superar el dualismo, el reduccionismo y el determinismo. Corresponde más bien al campo de la ciencia posnormal.

Aunque desde la complejidad se entiende la importancia de los sistemas complejos adaptativos, no se reduce a sistemas y pone atención a diversos fenómenos de la complejidad tales como las singularidades, los fenómenos raros, las aleatoriedades, los quiebres, las irrupciones, las catástrofes (de René Thom), los cambios súbitos, las fracturas, las borrosidades, los intersticios, entre otros.

Al aceptar la incertidumbre la complejidad cumple un rol desequilibrante de la ciencia normal instituida e institucionalizada. La complejidad busca aumentar los grados de libertad para salir del esquema de linealidad causal que busca respuestas únicas y universales. Asimismo, el paradigma de la complejidad refiere a un pensamiento de síntesis. El enfoque de complejidad considera la importancia de los procesos y la dinámica no lineal (alejada del equilibrio, que reconoce las dinámicas irreversibles, súbitas, imprevisibles, aperiódicas, no-lineales, fluctuaciones, inestabilidades y turbulencias). Reconoce la importancia de la autoorganización (como en los casos de comportamientos de enjambre) y las propiedades emergentes.

Para la complejidad no hay separaciones contundentes entre Ciencias naturales y Ciencias sociales, Ciencia y Humanidades, Ciencia y Filosofía, Ciencia y Arte, y reconoce tanto los enteveros como las continuidades. Es por ello que los artículos que se presentan no se elaboran a partir de perspectivas disciplinarias. Por el contrario, se podría decir que son perspectivas indisciplinarias.

Ciencias de la complejidad es otra forma de decir Ciencias para la vida. De ahí que uno de sus propósitos tiene que ver con el reconocimiento del valor intrínseco de la vida en todas sus manifestaciones, tanto de lo humano como de lo humano (que recibe otros nombres tales como lo más que humano, el otro-que-humano, lo extrahumano, lo posthumano, entre otros). Se entiende la importancia de la vida (digna se entiende) en el marco de una

crisis civilizatoria que ha dirigido su accionar fundamentalmente a la acumulación y a los mercados. No solo es una trivialización de la vida sino que tiene grandes impactos sociales y ambientales.

Existen diversos aportes teóricos que sustentan el reconocimiento del valor intrínseco de la vida tales como la Biología de la complejidad (Biocomplejidad), la Ecología de redes (y su relación con la conectividad biológica), la Ecología funcional (relativa a los rasgos de las especies), la Biología molecular (relacionada con la genómica forestal), la Epigenética, la Ecofisiología vegetal (relacionado con las tolerancias climáticas), la Biología del comportamiento vegetal, el microbioma del suelo (que alude a la rizosfera), la Ecología del paisaje, la Dinámica de bosques (vinculada a la teoría de los disturbios), Bioacústica ecológica, la Ecohidrología (que hace referencia a los ciclos biogeoquímicos), la Biología cuántica, Biosemiótica (Antroposemiótica, la Fitosemiótica, la Zoosemiótica), la Ecosemiótica, La Socioecología (y su relación con la bioculturalidad), La Ética ecológica (que pone de relieve la vida más que humana), entre otras.

Lo mismo pasa desde las diversas corrientes que vinculan la Filosofía con la vida. Así tenemos la Filosofía de la Biología, la Filosofía Ambiental (Ecofilosofía), La Filosofía Vegetal o Filosofía de la vida vegetal, La Filosofía de la complejidad, entre otras. Algunas de las principales propuestas filosóficas refieren a la Ética hacia la vida digna de Han Jonas, Ontologías del Biocentrismo, Ecocentrismo, Fisiocentrismo, Cosmocentrismo, El cuidado y la Afectividad Ambiental, el reconocimiento de la cognición y sensibilidad no humana a partir de la Filosofía Vegetal y la Neurobiología vegetal (denominación no libre de controversias), el Pensamiento Ecológico-Cosmológico, entre otros.

El primer artículo “Un árbol, un bosque: La cuna de la experiencia humana” ha sido elaborado por Carlos Eduardo Maldonado. Este trabajo plantea que todo árbol y todo bosque constituyen un colectivo vivo, portador de una historia que nunca es individual ni aislada. Comprenderlos exige una actitud intelectual compleja, donde dialogan simultáneamente la lógica científica y la lectura tropológica (dimensión figurativa del pensamiento y el lenguaje) del mundo. Situados en la interfaz entre naturaleza y cultura, los árboles evocan la figura bifronte de Jano: miran hacia la materialidad ecológica tanto como hacia los sentidos simbólicos que las sociedades proyectan sobre ellos.

De manera decisiva, los árboles encarnan una ética del cuidado, recordándonos que en la naturaleza nada acontece por simple inercia ni puede darse por supuesto. Cada árbol y cada bosque se revelan así como puntos de convergencia entre ciencia, filosofía y arte, umbrales desde los cuales es posible repensar nuestras formas de habitar y comprender la vida. Lejos de reducirse a un alegato ambientalista, esta propuesta invita a reconocer en ellos un horizonte más amplio de significado, capaz

de interpelar nuestra sensibilidad, nuestro pensamiento y nuestra responsabilidad ética.

El segundo artículo “¿Está la sociedad humana asemejándose más a las de los insectos?” ha sido elaborado por Marc Dourojeanni. Este texto examina las profundas analogías entre las sociedades humanas y las de las termitas y hormigas: estructuras de castas, ciudades complejas, cuidado colectivo, comunicación, memoria social y capacidad de dominar el entorno. La gran diferencia reside en la individualidad humana, sostenida por la inteligencia, la consciencia y los sentimientos, frente a la estricta programación genética de los insectos sociales.

Sin embargo, se plantea que la sociedad moderna muestra señales de converger hacia modelos semejantes a los de estos insectos. Tres tendencias sobresalen: a) la homogeneización creciente que limita la individualidad; b) la expansión de grupos sociales indiferentes que restringe el ejercicio crítico de la inteligencia; y c) el avance de la inteligencia artificial, que concentra la capacidad creativa en una minoría. Así, aunque la abstracción y la sensibilidad humana persistan, el horizonte futuro podría asemejarse cada vez más a una sociedad altamente coordinada y obediente, semejante a la de los insectos sociales.

El tercer artículo “Algunos problemas en la estimación de la magnitud de un impacto en los EIA (Estudios de Impacto Ambiental) a partir de la condición de sistema complejo adaptativo de los sistemas ambientales” ha sido escrito por Edgar Sánchez. Este artículo examina las dificultades inherentes a estimar la magnitud de los impactos en los Estudios de Impacto Ambiental cuando se trabaja con sistemas ambientales entendidos como sistemas complejos y adaptativos. Su propósito es mostrar, mediante simulación, las limitaciones de los enfoques lineales y aditivos tradicionales empleados en los EIA. Para ello se utilizó un modelo de dinámica de sistemas aplicado a la población de vicuñas en la Reserva Nacional de Pampa Galeras, analizando su comportamiento frente a una perturbación puntual —una sequía.

Los resultados revelan que estos sistemas poseen agencia y autoorganización, y se encuentran en movimiento continuo; por tanto, los EIA deben atender no solo al estado presente del ecosistema, sino también a su trayectoria dinámica. Asimismo, se evidencia que no existe una relación proporcional entre la magnitud de la perturbación y la respuesta del sistema: las retroalimentaciones internas y las no linealidades pueden amplificar o amortiguar los efectos, generando impactos cuya duración puede ser mucho mayor de lo esperado. Estas conclusiones invitan a replantear la forma en que se conciben y evalúan los impactos ambientales en contextos reales de complejidad.

El cuarto artículo, “Lo que los forestales pueden aprender de la Filosofía de la vida vegetal” ha sido elaborado por Rodrigo Arce. Este artículo explora lo que los profesionales forestales pueden encontrar en la Filosofía vegetal, con el fin de ampliar y fortalecer su marco teórico y operativo desde una perspectiva interdisciplinaria. La revisión realizada muestra que este enfoque filosófico transforma profundamente la mirada forestal, al cuestionar y

renovar los fundamentos epistemológicos y ontológicos que han guiado históricamente la práctica del sector, tanto en Latinoamérica como a nivel global. La Filosofía de la vida vegetal propone reconsiderar el lugar que se ha otorgado a los bosques —habitualmente concebidos como simples proveedores de recursos— e invita a reconocer su complejidad, su agencia y su valor intrínseco dentro de un marco más amplio de comprensión y cuidado.

El quinto artículo, “Procesos de génesis y ontogenia en la complejidad de un ecosistema forestal” ha sido elaborado por Benedicto Baca Rosado. Este artículo investiga los procesos de génesis y ontogénesis en la complejidad de los ecosistemas forestales a través de la teoría de la complejidad. El objetivo es superar las dificultades en la comprensión del desarrollo evolutivo mediante un pensamiento crítico y multidisciplinario. Esto es de especial importancia porque los forestales, incluso con su formación biológica, no logran incorporar la génesis y ontogenia de los bosques por lo que han ganado la capacidad de maravillarse de estos procesos y traducirlo claramente en sus relaciones con la floresta. El artículo contribuye a expandir su mirada e incorporarlo en sus acciones vinculadas a la conservación de bosques y un manejo forestal que respete el valor intrínseco de la vida en los bosques más allá de la madera, sesgo que es muy frecuente por su orientación a la forestería articulada a los mercados.

Los artículos han sido escritos independientemente por lo que cada uno de ellos tiene su propio enfoque e incorporan en diversa magnitud los enfoques de complejidad. Los diversos artículos constituyen una invitación para ampliar las miradas convencionales sobre los árboles, bosques y la vida en general, especialmente destacando el valor intrínseco de la vida; reconocer que es posible aprender de las plantas y de los insectos cuando uno se predispone con humildad a encontrar otras fuentes de conocimiento. Asimismo, a revisar críticamente los instrumentos de gestión ambiental para reconocer la complejidad de la realidad (o las realidades socioecológicas).

Dr. Rodrigo Arce Rojas

EDITOR INVITADO

UN ÁRBOL, UN BOSQUE: LA CUNA DE LA EXPERIENCIA HUMANA

A TREE, A FOREST: THE CRADLE OF HUMAN EXPERIENCE

FECHA DE RECEPCIÓN: 14-08-25 / FECHA DE ACEPTACIÓN: 20-12-25

Carlos Eduardo Maldonado

PROFESOR TITULAR FACULTAD DE MEDICINA, UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Correo electrónico: maldonadocarlos@unbosque.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9262-8879>

RESUMEN

Este artículo sostiene que cada árbol, cada bosque es un colectivo, que narra una historia que jamás es singular o particular. Comprender a cada árbol o bosque o selva es una compleja actitud en la que existen a la par la lógica y la tropología. Los árboles se encuentran en la interface entre naturaleza y cultura, acaso en una semejanza al dios griego Janus. De manera significativa, los árboles encarnan y representan a la vez la forma más plena de la moral o la ética a saber: la ética del cuidado. En otras palabras, cada árbol, cada bosque pone de manifiesto que en la naturaleza no hay nada que vaya de suyo. Los árboles son, de manera fundamental, el punto de convergencia de la ciencia, la filosofía y el arte. En otras palabras, son bastante más que simple ambientalismo.

Palabras clave: Vida; Salud; Naturaleza; Epistemología y Filosofía de la Ciencia; Ciencias de la complejidad.

ABSTRACT

This paper argues that each tree as well as each forest is a collective being and it narrates a story that is never particular or singular. Understanding each single tree or forest entails a most complex attitude in which logics and tropology converge. Trees are situated in the interface between nature and culture, most probably very much like the Roman god Janus.

Meaningfully, trees embody and represent at the same time the plainest form of any moral or ethics, namely ethics of care. In other words, each tree and each forest bring to the fore the fact that in nature nothing goes without saying. Trees are, most fundamentally, a point of encounter between science, philosophy and the arts. In other words, it is much more than sheer environmentalism.

Keywords: Life; Health; Nature; Epistemology and Philosophy of Science; Complexity theory.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la vida, esto es, de los sistemas vivos es un acontecimiento perfectamente novedoso. Esta observación supone una aclaración de entrada: el estudio de la vida *sin supuestos metafísicos*, tiene, a la fecha, apenas unas cuantas décadas. Atávicamente, sin metafísica significa dos cosas: de un lado, sin supuestos o principios *ad hoc*, *lato sensu*. La historia de la ciencia es ilustrativa al respecto. Por ejemplo, las matemáticas se liberan de la metafísica en el siglo XIII; la lógica, por su parte, en los años 1930; la historia, gracias notablemente a la escuela de los Anales, en los años 1920; la biología lo hace, gracias a Darwin, de manera puntual, en 1859; los ejemplos podrían multiplicarse sin dificultad.

De otra parte, que la ciencia se libere de la metafísica significa que abandona la idea del excepcionalismo humano; esto es, la idea de que el ser humano es superior, ajeno y diferente a la naturaleza. Toda la metafísica hunde sus raíces en una preocupación distintivamente antropológica, a saber: la trascendencia del ser humano o, lo que es equivalente, la relación del ser humano con la trascendencia.

El descubrimiento de la vida, en sentido amplio, esto es, de los seres vivos, ha sido descendiente, así: la primera preocupación en la historia de la civilización occidental fue por el ser humano. Al decir de Protágoras: πάντων χρημάτων μέτρον ἔστιν ἄνθρωπος, τῶν δὲ μὲν ὄντων ὥς ἔστιν, τῶν δὲ οὐκ ὄντων ὥς οὐκ ἔστιν. Literalmente, el hombre es la medida de todas las cosas [o asuntos: *khremáton*], tanto de las que son como de las que no son. Este *motto* marca enteramente y define de un extremo al otro qué significa ser occidentales.

Desde los mamíferos superiores pasando por los vertebrados, la comprensión de lo que son los seres vivos y lo que hacen para vivir va accediendo hasta niveles más alejados de la forma e imagen humana, y con ello, va enriqueciéndose. Notablemente, la comprensión de la emergencia del cerebro, de un lado, y de la conciencia y de la mente, de otra parte, llega hasta las estrellas de mar y las medusas (Godfrey-Smith, 20020). Por su parte, la botánica, un área del conocimiento tradicionalmente considerada como menor para los estándares de los modelos científicos clásicos normales, se transforma radicalmente en el año 2006.

La botánica se metamorfosea en la neurofisiología de las plantas (Baluska *et al.*, 2006). El resultado no es para nada menor: las plantas saben y conocen en el más fuerte de los

sentidos de las ciencias cognitivas, de la psicología, de la biología misma. Mucho tiempo atrás, Maturana y Varela habían abierto un camino al señalar de manera expresa que las raíces del conocimiento no se encuentran en la epistemología, en la psicología, en la lingüística, en la filosofía o en la religión, sino, mucho mejor, en la biología. La restricción estriba en que los dos biólogos chilenos se limitaron –en su momento– al espectro humano (Maturana, Varela, 1990).

Subrayemos esto: el 97% de la biomasa en la biosfera son plantas. Pero, después de un muy largo camino, el conocimiento de las plantas puso de manifiesto que son determinantes para la comprensión de la vida. Más abajo, por así decirlo, quedaba aún toda la microbiología: bacterias, virus, parásitos, viroides, protistas, algas, arqueas, priones, notablemente.

Mientras que Occidente nació dividiendo y clasificando –análisis–, vivió toda su historia creyendo en jerarquías y centralidades. El propio concepto de especie cumplió durante mucho tiempo el papel de dividir y clasificar. Esta historia es hoy por hoy perfectamente insostenible.

La vida es un vasto y complejo entramado de codependencias, co-aprendizajes, relaciones de todo tipo –directas, indirectas, transitorias y otras–, todo lo cual se ha venido a condensar en dos conceptos complementarios: simbiosis y holobiontes. En una palabra, no existen fronteras, y ciertamente no rígidas, entre los diversos niveles, planos, contextos, de la vida.

Exactamente en este punto, la nueva biología (Ball, 2023) ha puesto en el foco el sentido y la importancia de la eusocialidad. Pues bien, sorprendentemente, mientras que la eusocialidad se refirió al comienzo y durante un tiempo largo a los insectos sociales, las plantas han sido reconocidas también, y acaso como la base misma, de la eusocialidad.

Este artículo toma como hilo conductor al árbol; y con él, más allá de él, al bosque y a la selva. Siddharta Gautama alcanzó la iluminación a los pies de un árbol. Jesús de Nazareth tuvo su más fuerte experiencia espiritual también sentado junto a un árbol. Toda la literatura y la poesía ponen suficientemente de manifiesto, una y otra vez, que la existencia es imposible al margen del árbol. De un árbol; éste, o aquel.

Sin embargo, en rigor, un árbol no existe; como tampoco existe una planta. La anatomía de las plantas es modular: una planta es un colectivo. El árbol es la experiencia más elemental, para los seres humanos.

El hilo de este artículo es el árbol, un árbol cualquiera como motivo para defender una tesis: los árboles se encuentran en el umbral entre la cultura y la naturaleza, pero apuntan a la naturaleza como a la gran fuente de vida. Esta tesis se articula en la combinación entre lógica y tropología. Es imposible dividir las ciencias de las artes. La hibridación entre lógica y tropología puede ser denominada como “naturalismo poético” (Carroll, 2017). La ciencia sin la ficción es parálitica; la ficción sin la ciencia es gelatinosa. Una le brinda solidez a la otra, y la otra le ofrece vitalidad a la una (Maldonado, 2022; Scott, 2022).

Cuatro argumentos sostienen la tesis enunciada. La primera es corte epistemológico y sostiene que el estudio y la comprensión de los árboles, desde sus inicios comporta una hibridación de lógica y tropología. La primera sección aporta argumentos en este sentido. La segunda sección afirma que los árboles tienen y demandan una mirada propia perfectamente distinta a la habida clásicamente sobre el resto de las cosas en el mundo. Los árboles demandan una relación en la que, de manera singular, confluyen naturaleza y cultura. Se aportan justificaciones de este argumento. El tercer argumento subraya que los árboles tienen una forma de vida basada en una ética del cuidado, algo que particularmente puede verse en las canopias; y por derivación, en los bosques y las selvas. Congruente con los argumentos precedentes, el cuarto argumento juega las veces de fantasía musical pues muestra qué y cómo los árboles han sido motivo de trabajo o inspiración en el arte. Simple y llanamente, se trata de ver la inseparabilidad entre ciencia y arte. Al final se extraen algunas conclusiones.

2. RESULTADOS

2.1 LÓGICA Y TROPOLOGÍA PARA COMPRENDER A LOS ÁRBOLES

De todas las gamas contextos, realidades, fenómenos y sistemas de la naturaleza, los árboles ocupan un lugar propio. Ciertamente que a finales de la Edad Media y en el renacimiento la preocupación principal sobre ellos era su tala y desaparición, en el siglo XVI, por el contrario, su singularidad, y en los siglos XVII y XVIII su variedad. Esto último tiene indudablemente que ver con la creación y consolidación de jardines botánicos alrededor del mundo como resultado del descubrimiento de las Américas y la circunnavegación del mundo. G. Fernández-Armesto ha escrito una singular historia del proceso civilizatorio de la humanidad alrededor de un motivo: la transformación de la naturaleza (Fernández-Armesto, 2002).

Digámoslo de manera expresa: sorprendentemente, el proceso civilizatorio de la humanidad ha ido en la destrucción de la naturaleza. Así, civilización es inversamente proporcional al cuidado y experiencia de la naturaleza. La razón tiene que ver como ya se mencionaba antes arriba, con el carácter distintivamente antropomórfico, antropocéntrico y antropológico de la civilización occidental.

Occidente, mucho más que una geografía es una estructura mental, a saber: se trata de la estructura mental que cree que los seres humanos son superiores y ajenos a la naturaleza, y que ésta existe para satisfacer las necesidades y fines humanos; lo que quiera que estos sean.

Ya Aristóteles, como señala expresamente Fernández-Armesto, por ejemplo, se alarmaba por la deforestación y la tala de árboles indiscriminada en la Grecia antigua, principalmente para la construcción de naves y barcos; esto es, la guerra y el comercio, que en realidad dos

caras de una sola y misma moneda.

De manera significativa, prácticamente todas las culturas, pueblos y sociedades –hasta donde tenemos conocimiento– coinciden en referirse al árbol como base para entender la conexión de la existencia humana con el resto de la naturaleza y con el universo mismo. Se trata del árbol de la vida. Es sabido que en el antiguo Egipto el sicomoro era el árbol que permitía conectar los dos mundos, el de la vida y el de la muerte. Una fenomenología del árbol de la vida sería un tema demasiado extenso y profundo para tratarlo en este espacio. En cualquier caso, es como un árbol, representando profundidad, frugalidad, robustez y variedad como se expresa en todos los idiomas y lenguajes la complejidad de la vida misma.

De esta suerte, el árbol aparece como una experiencia y un símbolo antes que como un objeto de estudio, en el sentido moderno de la palabra. Cuando la ecología –una vez que nace efectivamente como ciencia, con Odum–, pone de manifiesto que no existe en la naturaleza ninguna especie clave –apuntando con ello, directamente a la crisis del modelo antropocéntrico y antropomórfico del mundo y de la realidad–, sitúa al árbol como referente primero. Así, un árbol es una especie sombrilla (Odum, 1997).

Una especie sombrilla es aquella que hace posible otras especies consigo, funciona como un gran canal de comunicación entre y con otras especies y ocupa un amplio espacio, consiguientemente, para hacer posibles los procesos de comunicación y de simbiosis. En la naturaleza, contrariamente a las ideas dominantes en la civilización occidental, no existen jerarquías ni centralidades.

Es fundamental subrayar que una buena comprensión no se logra, en absoluta, única y principalmente con ideas, conceptos, categorías y juicios lógicos. Además, se requiere de tropos: ironía, sinécdoque, aliteración, símiles, metáforas, hipérboles, metonimias y demás.

Dicho en otras palabras, una buena comprensión del mundo y de las cosas es el resultado de la teoría y la práctica –*horribile dicta*–, de una sensible mixtura entre subjetividad y objetividad. Como es suficientemente sabido, la pura objetividad no existe, es un (mala) abstracción; lo mismo cabe decir de la pura subjetividad (lo que quiera que sea eso). Hablamos, vivimos y explicamos las cosas con lógica y tropología aun cuando la mayoría de las veces no sea de manera consciente y reflexiva. Musicalmente hablando, el mundo no se compone de sonidos y de ruido; además existe el silencio. Todo lo anterior, diversas maneras de aproximarnos al hecho elemental de que el mundo, la naturaleza, la sociedad y el universo son tanto el objeto de tematizaciones y problematizaciones, como experiencias –esto es, sentimientos y sensaciones–.

Atávicamente, las artes y las ciencias estuvieron separadas en los orígenes y durante la mayor parte de la civilización occidental. Esta idea merece una consideración más serena.

La primera forma de comunicación entre los seres humanos y de éstos con el mundo no fue la escritura, ni tampoco el lenguaje proposicional, del tipo: S es P. Por el contrario,

la primera forma de expresión fue la pintura, la danza, la música, el canto. De manera significativa, la primera de todas las artes fue una que hoy ocupa lugares muy secundarios y ha terminado por ser manipulada en nombre de la sociedad del consumo. Se trata de las artes decorativas (Gombrich, 2008). Hombres y mujeres adornaban sus rostros, miembros o lugares con plumas, aretes, aros, piedras, colores y toda clase de adornos, por belleza o por función simbólica. Los símbolos son siempre caprichosos; digamos, convencionales (Cassirer, 1994).

Los árboles representaron siempre cobijo, por ejemplo, de la intemperie, de las fuertes lluvias y demás, mientras se encontraba un lugar más resguardado. Evolutivamente, la cuna de los seres humanos fueron los árboles; de allí descendimos en un momento dado para lanzarnos por las estepas africanas. La cuna no debe ser olvidada jamás; a pesar de los viajes, otras camas, tantos avatares y el destino final. Saber de los árboles es saber de la cuna de la forma humana de la vida.

Wohlleben (Wohlleben, 2016) ha puesto suficientemente de manifiesto que los árboles no saben de egoísmo y que, por el contrario, son la primera expresión del altruismo y, si se llega a ser necesario, del sacrificio. Los árboles mayores se alimentan menos para que los jóvenes crezcan fuertes y puedan subsistir por sí mismos. Los árboles les transmiten a los más jóvenes las enseñanzas que tienen acerca de pestes, sequías, lluvias torrenciales, otras especies y demás, y siempre están juntos y prestan a brindar cualquier ayuda. Así las cosas, los árboles saben de una ética del cuidado, que es, sin la menor duda, la más excelsa y sensible de las formas de cualquier comportamiento moral. El cuidado implica la presencia, la permanencia, el día a día, la proximidad y la observación cuidadosa para con los otros. Verdadera eusocialidad.

Las distintas especies de árboles se caracterizan, unos de otros, por un rasgo singular: la capacidad de adaptación y la longevidad, por tanto. Entonces emergen los ejemplos conspicuos: las secuoyas y los ébanos, el baobab y la picea solitaria, notablemente. Hablar en este contexto de la importancia de la dendrocronología sería demasiado obvio. Mucho más significativo es el hecho de que estas especies y árboles conservan una de las formas más largas y sedimentadas de la memoria. Vieron llegar a muchas especies del fondo de los mares, presenciaron la historia de la desaparición de los saurios, han sido contemporáneos con la historia del *homo sapiens*, y de otros tipos *homo*, ya desaparecidos. Los árboles han visto el mundo desde los valles y en las colinas, al borde de los ríos y en los desiertos, cerca al mar o en los páramos. Sólo muy recientemente hemos aprendido a escucharlos y a leerlos.

Los árboles son *evolutivamente* superiores a los seres humanos; a pesar de lo que estos establezcan con toda la industria maderera y sus derivaciones.

En verdad, la bibliografía especializada en los árboles no abarca, a la fecha, más de tres décadas. Significativamente, la literatura sobre los árboles combina mucha botánica y neurociencias, química orgánica y paleontología, biología del paisaje y genética, pero también mucha poesía, estética -muchos más y mejor que solamente arte- y un sentido

de pertenencia a la madre tierra. Literalmente, los árboles son reservorios de memoria y de vida. Es a partir de los árboles que los campesinos, los negros raizales y los indígenas les han enseñado a los seres humanos “civilizados” que, literalmente, el agua se puede sembrar. Sembrar el agua implica el conocimiento, notablemente de olivos y almendros, tabias y jessour, entre otros. El agua es la *conditio sine qua non* para el cuidado de la vida. Los árboles son determinantes en la siembra del líquido central para la vida.

Es fundamental atender a este hecho: nada en la naturaleza está desligado de nada. No se trata de que todo está conectado con todo –una idea en realidad tautológica–. Pensar así es puro *wishful thinking*. En realidad, unas cosas están más conectadas que otras. Este es exactamente el descubrimiento de la ciencia de redes complejas, cuyas tres principales expresiones son las redes libres de escala, las redes de mundo pequeño y las redes aleatorias.

En cualquier caso, que nada está desligado de nada significa que cualquier acción en un plano o contexto en la naturaleza tiene consecuencias, así sea indirectas, con otros contextos y planos. Un árbol tiene impacto, importancia y consecuencias que escapan inmediatamente a una mirada directa e inmediatista. Un bosque tiene una importancia que desborda con mucho la imaginación humana restringida a los marcos de la cultura normal y normalizada.

2.2 LOS ÁRBOLES COMO INTERFACE ENTRE NATURALEZA Y CULTURA

Los árboles se encuentran en la interfase entre la naturaleza y la construcción de las ciudades. Construir ciudades es directamente proporcional a talar árboles. In extremos, las ciudades fueron hechas para separar a los seres humanos de la naturaleza, pues ésta comportaba peligros y misterios, amenazas y riesgos. Las ciudades se cerraron al comienzo sobre sí mismas –fortificaciones, muros, zanjas y demás, y luego, con su crecimiento, debieron derribar los mayores obstáculos existentes: selvas, bosques, canopias y árboles. La civilización es la antípoda de las selvas.

Es suficientemente conocido que la altura de un árbol se corresponde, aproximadamente con la profundidad de sus raíces, pero sus raíces se extienden bastante más que lo hacen las ramas. La profundidad de la vida de las plantas en general invita a la mirada a lo que ya conocemos hoy como la rizosfera – un mundo de una complejidad inmensamente más rica que lo esperado por cualquier ciencia o disciplina particular. Una sola ciencia, incluidas la ingeniería ambiental, la ecología misma o la biología, son insuficientes para aprehender la riqueza: a) de un árbol; b) de un bosque.

Los bosques estuvieron siempre animados de seres fantásticos en la historia de la humanidad. Por ninfas y hadas, por cíclopes y enanos, por dioses, semidioses y héroes, por magia y por espíritus de toda índole. Hasta cuando el mundo, literalmente se desencantó

y terminó imperando el objetivismo, el mecanicismo y con ellos, el materialismo vulgar.

Las ciencias de la complejidad tienen exactamente este cometido, a saber: reencantar el mundo (Prigogine, Stengers, 2002). El reencantamiento del mundo pasa, medularmente, por reconocer que el tiempo es un factor creativo, generador de vida. Contrariamente a las concepciones acerca del tiempo por parte de las tres religiones monoteístas constitutivas de Occidente, el tiempo suma y crea, aporta y jamás resta. Es imposible un reencantamiento del mundo al margen del tiempo. Pues bien, los árboles son una -acaso la más hermosa- de las formas de materialización del tiempo. Los árboles -que son plantas- bailan al son de los vientos y de las lluvias, por ejemplo, melodías que los seres humanos no alcanzan a percibir (Krause, 2013; Carson, 2000). Si los orígenes de la música se encuentran, como es efectivamente el caso, en los lugares más salvajes del mundo, es porque aves y grillos, insectos y lobos, las propias plantas y muchos tipos de mamíferos encuentran en los bosques y en cada árbol una partitura idónea; eso, perfectamente encantadora.

En verdad, para admirar la naturaleza los seres humanos deben hacer silencio; y escuchar y sentir. Las ciudades son lugares ruidosos en los que es imposible escuchar a la naturaleza; a los ríos o los oleajes del mar, los vientos o las aves, las lluvias y los insectos. Todo parece indicar que la mejor música remite a, se nutre de, o se encuentra finalmente en los confines de boques, selvas, o en tanto que especie sombrilla, de cada árbol.

Las ciudades son realidades advenedizas en el seno de bosques y selvas; habitualmente construidas en la cima de una montaña, o al borde del mar con la finalidad de controlar el espacio. En verdad, este modo de construcción clásico de las ciudades permitía controlar el espacio de donde podía venir el enemigo o el extranjero. La urbanización del mundo corre paralela al desencantamiento del mundo. Como consecuencia, se produjo una tensión entre cultura y naturaleza. Los seres humanos clásicamente apostaron por la cultura. Al final del día, perdieron la apuesta. Por lo menos todos aquellos que así lo hicieron.

Sin dilaciones, una apuesta por la vida pasa medularmente por una recuperación de cada árbol y de cada bosque. El título eufemístico que ello adopta es el de reforestación. Existen ejemplos notables: en Gobi, en Karnataka, en los Apalaches, en las Filipinas y en la geografía subsahariana. La reforestación no debe ser vista simple y llanamente como una tarea antropocéntrica, sino como parte del reencantamiento del mundo.

En efecto, las ciudades -con todo y las divisiones entre pequeñas ciudades, ciudades medianas, grandes ciudades y metrópolis- constituyen espacios de seguridad humana *contra la naturaleza*; por ejemplo, contra los tigres y las serpientes, las arañas y los roedores. Pero lo que los seres humanos urbanizados ignoraron fue que los seres humanos implicaban peligros aún mayores: guerras, injusticias, inequidad, violencia, torturas, anatematización, persecuciones de todo tipo, y muchas otras formas.

Subrayemos esto: en la naturaleza la violencia no existe. La violencia es un concepto y una práctica específicamente humana. Mejor aún, uno de los rasgos específicos de los seres

humanos que no existe en ningún otro lugar de la Tierra es la violencia. Y la hay de muchas formas. La naturaleza jamás supo ni sabe de violencia. La razón es que la violencia sólo nos hace culturalmente mejores, *lato sensu*. Jamás biológicamente mejores. Esto es, la violencia no nos hace seres humanos mejores; a menos que se destaquen elementos económicos, religiosos y demás.

Dicho en el lenguaje clásico: la violencia no hace digno a nadie; por el contrario, nos deshumaniza. Frente a este estado de cosas, dicho de manera puntual, Occidente ha re-descubierto los baños de bosque (*shinrin-joku*, en japonés). Algo que los pueblos sociedades y culturas de América latina ya sabían gracias justamente a la presencia de amplios y numerosos bosques y selvas. Los baños de bosque son formas de curación o de sanación como un retorno a la naturaleza.

Sólo nos curamos o sanamos verdaderamente con y en medio de la naturaleza; jamás alejados de ella. Naturaleza es el título grueso (Wulf, 2020; Goethe, 2013) que designa, de manera puntual, notablemente, árboles y bosques, y todo lo que ellos comportan: ríos, toda clase de animales, y demás. Es sabido ya suficientemente que la salud de un ecosistema es directamente proporcional al número y variedad de insectos. Las ciudades implican, y cada vez más, la muerte y rechazo de los insectos.

En cuanto especie sombrilla, los árboles cobijan también insectos: salud del medioambiente. Sin ambages, a mayor forestación mayor salud. Un descubrimiento sorprendente cuando se lo mira con los ojos de un ser humano urbanizado y normalizado, por tanto.

Literalmente, un árbol es bastante más que un árbol. A fortiori, lo mismo cabe afirmar de un bosque. Cada árbol remite desde sí mismo a las alturas de los cielos, hacia donde miran siempre las ramas, sus hojas y en muchas ocasiones sus frutos, pero hunde sus raíces permitiendo la simbiosis entre bacterias, hongos y virus, principalmente (Sheldrake, 2020), pero en la escala humana, también ardillas, serpientes, búhos, numerosos insectos, frutos de toda índole según el caso, y una abundancia de sonidos y colores imposibles de recrear¹.

No en última instancia, los árboles aparecen como los verdaderos actores detrás de la emergencia de esa vanguardia artística que fue el impresionismo. Con una observación puntual de carácter histórico, social y cultural. Es gracias al impresionismo como, primero, el arte nace como tal en el ecosistema del conocimiento. Nunca fueron las artes consideradas un actor principal; ni siquiera en el Renacimiento. Y segundo, es gracias al impresionismo como los artistas adquieren por primera vez en la historia un estatus social y cultural propio, análogo al de las ciencias y las tecnologías.

Es exactamente en medio de la actual crisis climática -una vez que se hubieron agravado

1 El mejor ejemplo de la imposibilidad de recrear exactamente cada color, cada instante es toda la obra de Monet. O bien a propósito de las Lilas, o de la Catedral de Rouen, o bien igualmente de sus propios jardines en su residencia.

severamente el cambio climático y el calentamiento global-, y ante el eventual horizonte de la catástrofe climática como de babor y de estribor, por así decirlo, resuenan –en muchas ocasiones con alarma; y en otras con muchas esperanzas– el llamado a volver a la naturaleza. Pues bien, volver a la naturaleza coincide con reconocer la importancia de la cuna que nos meció alguna vez; mientras nos hacíamos posibles, de alguna manera.

Reforestar, cuidar los árboles es bastante más que los llamados, acaso bien intencionados de los ambientalistas. Se trata de cuidar la forma más amplia de memoria, de protección (= sombrilla) de la vida, el cuidado y el sembrado del agua, en fin, la cuna de la especie humana.

Los árboles, los bosques se encuentran en la interfase entre la naturaleza y la cultura si por ésta última se piensa en la experiencia humana de la vida². Pero, análogamente al dios romano Janus, mira en dos direcciones. De un lado a los cielos, es la más celestial de todas las plantas; y, de otra parte, a las profundidades y complejidad de la rizosfera. Debemos mirar allá a donde apuntan las ramas y hacia donde apuntan también las raíces. Janus es el dios de las puertas, una puerta tanto abre como cierra, a la vez.

La cultura ha humanizado al ser humano; pero al mismo tiempo lo ha desnaturalizado. El remedio terminó siendo peor que la enfermedad, según todo parece indicarlo.

2.3 LOS ÁRBOLES SON UNA ÉTICA DEL CUIDADO

Los árboles son, mucho antes que los seres humanos, y mucho antes que los insectos sociales la verdadera encarnación de la eusocialidad (Wilson, 2012). Lo que sucede es que la eusocialidad fue descubierta inicialmente por parte de los entomólogos (Hölldobler y Wilson, 1996), y también antes de los primatólogos (De Waal, 1996). El descubrimiento de los elementos estudiados en este artículo se vio dificultado, primero, por el hecho de que la botánica fue siempre una disciplina menor en el marco de la ciencia y en general y de la biología en particular. Adicionalmente, la dendrología, si bien tiene unos orígenes que se remontan al siglo XVII tardó mucho tiempo en adquirir un estatuto de ciudadanía, por así decirlo debido al interés comercial industrial de aquella. El propio concepto de especies sombrilla se acuña apenas en los años 1970s y 1980 .

Será solamente a partir del año 2006 cuando la botánica se transforma en neurofisiología de las plantas cuanto los árboles, un tipo conspicuo de plantas, los árboles, auténticas plantas vasculares, cuando un árbol, un bosque adquiere una dimensión propia en el tejido de la vida.

Sin embargo, la realidad es que para la mayoría de los seres humanos y para la mayoría de

2 Ni es cierto ni es necesario que la cultura sea humana; más exactamente, permea a la naturaleza. Cfr. Maldonado, C. E., (2022e) “La cultura no es humana: permea a la naturaleza”, en: SocArxiv, agosto 14; doi: 10.31235/osf.io/jh7kq; URL: <https://doi.org/10.31235/osf.io/jh7kq>

las ciencias y disciplinas, los árboles son meras fuentes de recursos naturales y condición de cuidado del medio ambiente. Algo bastante pobre, en verdad.

Los cuidadores de la trama de la vida son cada árbol, cada bosque. Acaso es por esto por lo que son prácticamente ubicuos sobre la corteza terrestre. Los árboles visten a las montañas, y los valles se visten de árboles. Excepto en los parques urbanos, donde los árboles son simplemente adornos, decoraciones, acontecimiento episódicos y puntuales.

Los árboles tanto son una ética del cuidado, como que cuidan de mil maneras las tierras fértiles y las riberas, las reservas acuíferas y a muchas especies animales y los canales móviles, difusos y porosos entre bacterias y hongos.

Los árboles se erigen. Literalmente como vigías de los procesos y dinámicas de la vida. Dialogan de manera fluida y muchas veces entretenida con los hongos que son los verdaderos catabolizadores de la naturaleza. En otras palabras, los hongos son la génesis del comienzo de procesos y dinámicas de vida.

Un árbol ofrece sombra, protección, frutos o aire fresco; contribuye a disminuir el calor del medioambiente creando microclimas que actúan en función del tipo y número de árboles. Y no pide nada a cambio. O sí, una sola cosa: que se lo deje tranquilo; esto es, no se lo intervenga de ninguna manera y no se lo tale o pade.

Los árboles saben alimentarse por sí mismos, cuidar de sí mismos y cuidar a otras especies -en tanto que sombrilla-, y acogen a quien lo necesite o lo que lo requiera. Subrayemos esto: un árbol no pide nada: sólo que se lo deje ser. Ser por sí mismo y a su manera, y no al modo como los seres humanos creen que deberían serlo. (Buena parte de los bosques europeos están perfectamente alineados y muchos son frondosos; artificios. Un bosque verdadero, natural es libre, caótico, si se lo quiere, jamás alineado y va creando una geografía conforme a los ríos, los valles, las colinas, las monturas o las inclinaciones).

A la pregunta filosófica: “¿por qué el ser y no la nada?”, M. Heidegger responde que hay cosas que son sencillamente sin pedir ninguna razón; existen por que sí; sin causa final, ni causa eficiente. Y uno de los ejemplos que pone expresamente es el de un árbol (Heidegger, 1984; 1978). Los árboles nos permiten aprender la gratuidad de la existencia mientras cuidan de sí mismos y de otros, y como el punto más cotidiano de dónde fallecen los embelecados de cualquier causa final.

Al mismo tiempo, los árboles pueden ser vistos, en los bosques y selvas como la vida misma del territorio. En efecto, contra la ciencia clásica y su pasado que no hacen creer que existen el tiempo y el espacio, el concepto de territorio -que ancla, ulteriormente, en la recuperación de los saberes tradicionales en Abya-Yala-, el territorio está vivo. Avanzan y retroceden los pastos y las selvas; avanzan y retroceden los lagos y los ríos.

Como lo puso suficientemente de manifiesto la neurofisiología de las plantas (Mancuso, 2019), las plantas -los árboles, por tanto, se mueven. Lo que sucede es que, para los ritmos

de los seres humanos y de los animales, se mueven muy despacio. Cuando están en su medio natural. En verdad, un árbol rodeado de cemento y entornos urbanos -ladrillo, gravilla, y demás-, está prisionero. No se puede mover en modo alguno. Al cabo, los árboles permiten la respiración de la tierra; literalmente, de la geosfera.

Las cárceles de los árboles y en general de las plantas, son los entornos llenos de cemento y sus adornos y derivaciones que los seres humanos inventan. ¡Debemos poder dejar libras a los árboles! Sólo este motto podría prestarse para un radical movimiento ambientalista. Pero parece que les hace falta lectura y estudio a muchos grupos de activistas; y de académicos.

Los entornos de cemento marcan los límites de libertad de los árboles. Los seres humanos, que tanto salivan hablando de libertad y autonomía, independencia y capacidades, se convertido en limitantes de la libertad de movimiento de árboles, selvas y bosques. In extremos, los seres humanos hablan de moral y ética, pero ignoran, literalmente, las raíces biológicas de la ética del cuidado. La cultura camina contra naturaleza, algo ya suficientemente estudiado en la bibliografía.

Los seres humanos están llenos de palabras; hacen cosas con palabras; y terminan viviendo el mundo y su propia experiencia como asuntos de palabras. Y las palabras terminan ocultando a las cosas mismas. Las cosas aparecen como sistemas vivos en forma de un árbol; un bosque.

2.4 LOS ÁRBOLES EN LA HISTORIA DEL ARTE

Los árboles se encuentran exactamente en el cruce entre concepto y metáfora, entre lógica y experiencia, entra naturaleza y cultura. Esta es exactamente su complejidad.

En lo que sigue quisiera, con todo, abrirle un espacio a cómo un árbol, un bosque han sido motivo de inspiración o personajes centrales en algunas de las artes. Por razones de espacio me limito aquí a la música, la pintura y la poesía. El cuadro No. 1 ilustra esta circunstancia:

CUADRO No. 1: ÁRBOLES, BOSQUES Y SELVAS EN LAS ARTES

MÚSICA	PINTURA	POESÍA
W. Byrd; Renacimiento: "Will you walk the Woods so wild"	Caspar David Friedrich: "Cairn in snow"	Shakespeare: "Under the Greenwood tree, en: <i>A vuestro gusto</i> (As you like it)
F. Schubert, "Linden Baum", canción No. 5 de: <i>Winterreise</i>	Mondrian: "The red tree"	C. Vallejo: "Desojación sagrada"; "Sauce", "Bajo los álamos"; "Hojas de ébano"; Tálamo eterno"
F. Liszt, "Wälderauschen"	Van Gogh: "Almond blossoms"	F. García Lorca: "Verde que te quiero verde"
J. Ireland, "The almond tree"	Courbet: "Forest in autumn"	

E. McDowells, "In Deep woods", y "To an old white pine"	A. Bierstadt: "Giant redwood trees"	
O. Respighi, "Los pinos de Roma"	Renoir: "La grenouillere"	
J. Rutter, "In their branches: musical reflections on the magic of trees"	Schiele: "small tree in late autumn"	
	Picasso: "La rue des bois"	
	Giotto: "The sermon of the birds"	
	B. Dupont "Hibernation 2/3"	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El Cuadro No. 1 tiene simplemente un valor indicativo. No se trata, en absoluto de una lista y, por tanto, no pretende ser completo. Se trata, simple y llanamente de señalar a algunos de ellos ejemplos acaso bien conspicuos, de la presencia de un árbol, un bosque en algunos de los capítulos centrales del arte.

Bien podría hacerse referencia a "El sueño de una noche de verano", la obra de Shakespeare, que ha sido recreada, una y otra vez, en teatro y en cine, con la presencia transversal de jardines y bosques. El cuadro No. 1 hace explícitamente referencia a los árboles como *protagonistas*; tanto como los bosques y las selvas. No simplemente como telón de fondo como efectivamente sucede en la historia del arte y de la cultura en general.

Queda dicho, los orígenes de la música se encuentran en los lugares más salvajes del mundo. Es exactamente contra esta idea que Carson llamó, lúcidamente, la atención acerca de la primavera silenciosa (Carson, 2000). La música se habría originado, de acuerdo con (Krause, 2013) en las profundidades de los lugares más salvajes del mundo; evidentemente. Allí donde la naturaleza habla mil y un lenguajes. Esa magníficamente compleja orquesta compuesta por vientos y hojas insectos y mamíferos, monos y micos y aves, hojas y ríos, de día o de noche; por ejemplo.

Cuando la naturaleza habla, los seres humanos deben callar, y aprender tanto como sea posible.

En contraste, las ciudades son lugares ruidosos, con músicas artificiales, sin música natural alguna. Excepto cuando expresamente un árbol o un bosque son motivo de inspiración, y no se encuentran simplemente como telón de fondo. Es siempre necesaria una mirada a las artes. Al fin y al cabo, poseen una dimensión singular.

En efecto, lo distintivo de la ciencia consiste en mostrarnos el mundo, la realidad, el universo, las cosas tal y como son; no tal y como nosotros querríamos que fueran. Formarse en ciencia significa formarse en la capacidad para enfrentar las cosas tal cual son, y no como desearíamos que fueran. Por su parte, la filosofía se caracteriza por ser una invitación o un llamado a cambiar nuestra actitud ante el mundo y la realidad. Las artes, por su lado, no tienen ninguna preocupación profunda con el mundo tal cual; antes bien, las artes crean

mundos, dimensiones, posibilidades, realidades que no existían antes. Un tríptico cuya unidad pone manifiestamente de manifiesto la complejidad del mundo real, tanto como de los mundos posibles.

Es suficientemente conocida la “Pastoral”, la sinfonía No. 6 de Beethoven en la que, particularmente en el tercer movimiento, bosques, selvas y numerosos y diferentes árboles constituyen una sola y misma cosa con el canto a la vida.

Subrayemos esto: con un árbol, con cada árbol, se trata, simple y sencillamente, de ver la vida misma, no a imagen y semejanza de la vida humana ni de un rostro humano cualquiera, sino como un tejido en el que ni hay centralidad ni jerarquías. La parte más importante de las plantas sucede en las raíces. Pero es en las ramas, hasta donde sabemos, en las hojas en particular en donde se lleva a cabo el más importante de todos los fenómenos que hace posible a la vida de la biosfera en toda su extensión y profundidad: la fotosíntesis.

3. CONCLUSIONES

La finalidad de la ciencia es comprender. Comprender es la forma más alta de conocimiento. Pero la verdadera comprensión no es simple y llanamente un acto racional o reflexivo. Además, y acaso muy fundamentalmente, es una actitud y una experiencia sensible. Comprendemos, al cabo, mucho más y mucho mejor con el sistema entérico y con el corazón, que solamente con la cabeza.

En verdad, nadie insensible puede comprender verdaderamente.

Es en la referencia a la comprensión que es sensibilidad y sentimiento donde se sitúa, exactamente, el cruce o la superposición entre lógica y tropología. Es en la sensación y el sentimiento donde confluyen y se refuerzan recíproca y necesariamente.

(Dicho entre paréntesis, solamente en inglés y en alemán, en el espectro inmediato de las lenguas indoeuropeas, hay una sola palabra que significa tanto sensación como sentimiento: *feelings*, en inglés; y *Empfindung*, en alemán. En español, por ejemplo, están separados los sentimientos de las sensaciones: semántica, etimológica, culturalmente, por ejemplo. Comprendemos cuando sentimos *-feeling; Empfindung-* y cuando nuestros sentimientos se ven alimentados, expresivos).

Hay momentos en los que los conceptos se quedan cortos y en los que no sabemos exactamente cómo expresar algo; nos queda entonces el lenguaje abierto y con indeterminaciones de las artes: el lenguaje del cuerpo, la danza o los movimientos, la poesía o la música, la poesía o la literatura, por ejemplo. Es por esta razón que este artículo está construido como aparece.

Los árboles tienen una especie de magia. Debemos poder dejarnos encantar por ellos. Tanto más en un mundo alta y crecientemente urbanizado. Hoy vivimos en un planeta

de ciudades (Angel, 2014), y las ciudades son atávicamente lugares inhóspitos para los árboles. Una ciudad fea es aquella que carece de verde y definitivamente de árboles. Sin ambages, una ciudad hermosa es aquella que posee árboles y caminos verdes, lo cual usualmente se acompaña por un río.

La magia, el encanto no son para nada diferentes del asombro. Decían los griegos antiguos que en el origen fue el asombro, que, según Hesíodo, se dice como: *Khaos* -caos-, y que designa, literalmente, al de la boca abierta. Un árbol, un bosque debe poder despertar en cada quien un sentido de asombro; no como algo que vaya de suyo. Al fin y al cabo, en la vida como en ciencia -en la *buena* vida y en *buena* ciencia nada es evidente, nada es obvio, no hay nada que vaya de suyo.

Cada árbol tiene una historia que contar. *A fortiori*, cada bosque, cada selva. Los seres humanos normales, aquellos que viven la vida con afanes, con tareas, con proyectos, con pensamiento estratégico y demás cosillas, no tienen nunca tiempo para sentarse a escuchar una historia.

Las historias (= los relatos): son ellas las que hacen, al fin y al cabo, a la vida. No las ecuaciones, los experimentos y las demostraciones. La historia de un árbol es siempre una historia de colectivos, de colectividades: bastante, mucho más que simplemente: *un* árbol, *un* bosque.

REFERENCIAS

- Angel, S. (2014). *Planeta de ciudades*. Ed. Universidad del Rosario-Lincoln Institute of Land Policy.
- Arnold, C., Atchinson, J., & McKnight, A. (2021). Reciprocal relationships with trees: rekindling Indigenous wellbeing and identity through the Yuin ontology of oneness. *Australian Geographer*, 52(2), 131-147. <https://doi.org/10.1080/00049182.2021.1910111>.
- Baluska, F., Mancuso, S., & Volkmann, D. (Eds.). (2006). *Communication in plants: Neuronal aspects of plant life*. Springer Verlag.
- Ball, P. (2023). *How life works. A user's guide to the new biology*. Picador.
- Bouchardon, P. (2021). *Las energías sanadoras de los árboles*. Blume.
- Carroll, S. (2017). *The big picture. On the origins of life, meaning and the universe itself*. Dutton.
- Carson, R. (2000). *Silent spring*. Penguin Books.
- Cassirer, E. (1994). *Philosophie der symbolischen formen. Erster teil: Die sprache. Zweiter teil: Das mytische denken. Drittel teil: Phänomenologie der erkenntnis*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- *Cinco proyectos de reforestación exitosa*. (s.f.). <https://arbolinvertido.com/ecologia/cinco-proyectos-de-reforestacion-exitosos-cambiaron-el-paisaje>.
- De Waal, F. (1996). *Good natured. The origins of right and wrong in humans and other animals*. Harvard University Press.
- Fernández-Armesto, F. (2002). *Civilizations. Culture, ambition, and the transformation of nature*. A Touchstone Book.
- Gilligan, C. (2013). La ética del cuidado. *Cuadernos de la Fundació Victor Grifols i Lucas*, 30, 10-39. https://www.revista-seden.org/boletin/files/6964_etica_del_cuidado_2013.pdf.
- Godfrey-Smith, P. (2020). *Metazoa. Animal life and the birth of the mind*. Farrar, Straus and Giroux.
- Goethe, J. W. von (2013). *Teoría de la naturaleza*. Tecnos.
- Gombrich, E. H. (2008). *La historia del arte*. Phaidon.
- Halle, F. (2020). *La vida de los árboles*. GG.
- Heidegger, M. (1978). Vom wesen des Grundes. En *Wegmarken*. Vittorio Klostermann.
- Heidegger, M. (1984) (1984). *Was heisst denken?* Max Niemeyer Verlag.
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1996). *Viaje a las hormigas. Una historia de exploración científica*. Crítica-Grijalbo Mondadori.
- Krause, B. (2013). *The great animal orchestra. Finding the origins of music in the world's wild places*. Back Bay Books.
- Maldonado, C. E. (2022). *Decir lo inefable. Acerca de las relaciones entre ciencia*

y arte. Ed. Suratómica.

- Mancuso, S. (2019). *El increíble viaje de las plantas*. Galaxia Gutenberg.
- Mancuso, S., & Viola, A. (2015). *Brilliant green. The surprising history and science of plant intelligence*. IslandPress.
- Maturana, H., & Varela, F. (1900). *El árbol del conocimiento. Las raíces biológicas del conocimiento humano*. Editorial Debate.
- Odum, E. P. (1997). *Ecology. A bridge between science and society*. Sinauer Associates, Inc. Publishers.
- Prigogine, I., & Stengers, I. (2002). *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*. Alianza.
- Scott, M. (2022). *El libro del árbol. Relato, ciencia e historia de los árboles*. Blume.
- Shakespeare, W. (1967). *Obras completas*. Aguilar.
- Sheldrake, M. (2020). *Entangled life. How fungi make our worlds, change our minds & shape our futures*. Random House.
- Vallejo, C. (1980). *Obra poética completa*. ed. La Ovej negra.
- Wangari, M. (2020). *Plantar árboles, sembrar ideas*. Aikara Books.
- Wilson, E. O. (2012). *The social conquest of earth*. Liverlight Publishing Corporation.
- Wohlleben, P. (2016). *The hidden life of trees. What they feel, how they communi-*

cate. Greystone Books.

- Wulf, A. (2020). *La invención de la naturaleza. El nuevo mundo de Alexander von Humboldt*. Taurus.
- 25 poemas sobre árboles. (s.f.). <https://nelda.org.in/25-poems-about-trees-to-inspire-you-tree-poems/>.

¿ESTÁ LA SOCIEDAD HUMANA ASEMEJÁNDOSE MÁS A LAS DE LOS INSECTOS?

IS HUMAN SOCIETY BECOMING MORE LIKE THAT OF INSECTS?

FECHA DE RECEPCIÓN: 19-10-25 / FECHA DE ACEPTACIÓN: 12-12-25

Marc Jean Dourojeanni Ricordi

INGENIERO AGRÓNOMO, INGENIERO FORESTAL, DOCTOR EN CIENCIAS. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA, LA MOLINA, LIMA, PERÚ

Correo electrónico: marc.dourojeanni@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0541-3915>

RESUMEN

Las analogías entre las sociedades humanas y las de termitas y hormigas son enormes: ciclo vital, castas, cuidado de crías, mezcla de generaciones, ciudades complejas, ejércitos, agricultura, comunicaciones, memoria social, orden y degradación social. La gran diferencia es la individualidad propia de los humanos asistida por la inteligencia y la consciencia y, por los sentimientos. Todo lo que hacen los insectos está determinado por la evolución y está genéticamente marcado. Los humanos evolucionan más por la capacidad de pensar y por la competición intraespecífica. Ambas sociedades dominaron su entorno y por eso se pueden considerar exitosas. Pero habría indicios de que la sociedad humana moderna y global se parece cada vez más a las de termitas y hormigas por tres factores: (i) las limitaciones crecientes a la individualidad, es decir la homogenización de la sociedad, en función de políticas y leyes, religión, educación, publicidad y propaganda y en especial por el uso de la internet; (ii) las limitaciones crecientes a la inteligencia por la proliferación de la clase o casta de los “incautos” o individuos indiferentes y no participantes/mayoría silenciosa y; (iii) el advenimiento de la inteligencia artificial que reduce la proporción

de “inteligentes” en la sociedad y concentra la capacidad de pensar y crear en pocos. Se concluye que, pese a que la capacidad de abstracción y la inteligencia y quizá de los sentimientos siempre se mantendrán en humanos, su sociedad futura se parecerá cada vez más a las de los insectos sociales, en que todos obedecen sin discutir y nadie se queja.

Palabras clave: Termitas y hormigas cortadoras de hojas, estrategias de vida compartidas y diferencias, sobrevivencia, individualidad e inteligencia, limitaciones a la inteligencia, futuro de las sociedades humanas.

ABSTRACT

The similarities between human societies and those of termites and ants are enormous: life cycles, castes, offspring care, intergenerational mixing, complex cities, armies, agriculture, communications, social memory, social order, and degradation. The great difference is the individuality inherent to humans, assisted by consciousness and intelligence, and by feelings. Everything insects do is determined by evolution and genetically determined. Humans evolve more through the ability to think and through intraspecific competition. Both societies dominated their environment and can therefore be considered successful. However, there are indications that modern, global human society is increasingly resembling those of termites and ants due to three factors: (i) the growing limitations on individuality, that is, the homogenization of society based on policies and laws, religion, education, advertising and propaganda, and especially the use of the internet; (ii) the growing limitations on intelligence due to the proliferation of the class or caste of the "dupes" or indifferent, non-participating individuals or silent majority, and (iii) the advent of artificial intelligence, which reduces the proportion of "intelligent" individuals in society and concentrates the capacity to think and create in the hands of a few. It is concluded that, although the capacity for abstraction, intelligence, and perhaps feelings will always be maintained in humans, their future societies will increasingly resemble those of social insects, where everyone obeys without question and no one complains.

Keywords: Termites and leafcutter ants, shared vital strategies and differences, ability to survive, role of individuality and intelligence, individuality loss, limitations to use of intelligence, future of human society.

1. INTRODUCCIÓN

No hay dudas de que hay diferencias fundamentales entre las sociedades más sofisticadas de los insectos y las de los humanos. Definitivamente no son iguales. Pero sus semejanzas son chocantes, especialmente en términos de éxito de las especies sobre la Tierra y quizá,

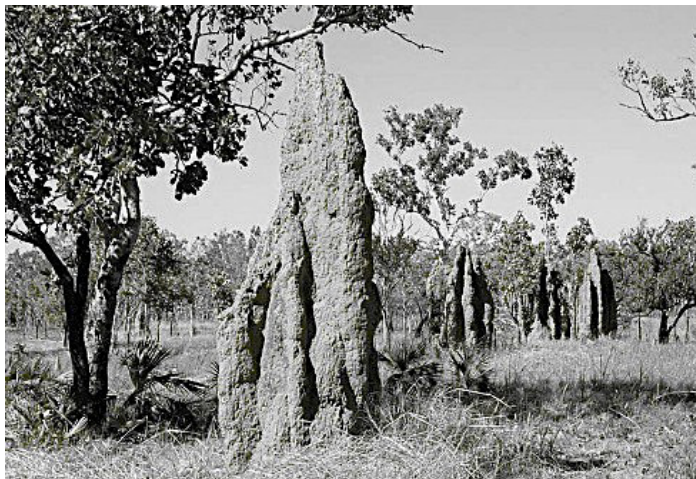
de su destino. Eso último es lo que se desea discutir: ¿Es posible que la sociedad humana esté pareciéndose cada vez más a las de insectos? ¿Hasta qué punto las sociedades de insectos son una indicación de lo que puede ocurrir con la humana? y ¿Serán suficientes las diferencias entre ambas sociedades para evitar que la humana tenga el fin que caracteriza a las sociedades de insectos?

Estos temas no son nuevos y ha sido discutido desde hace siglos por filósofos, biólogos y muchos otros desde las más diversas perspectivas. El famoso mirmécologo Edward O. Wilson (1971, 2012), entre otros, ha dedicado mucha atención a ese tema. Por eso, esta nota no pretende decir nada realmente nuevo y sí, en cambio, reexaminar el asunto y presentarlo, quizá, de una forma diferente, para que sea más o mejor entendido por los muchos que no le han prestado suficiente atención.

Como bien se sabe, las sociedades de insectos comienzan con una pareja de individuos, como Adán y Eva, con la misión de multiplicarse y dominar el entorno natural. Su población crece rápidamente, generan multitud de trabajadores, desarrollan actividades productivas y producen alimentos, y para defenderse forman legiones de soldados. Pero llega el momento en que algo ocurre fuera de lo previsto, hay desorden y la sociedad se desmorona. Y es aniquilada por las hordas enemigas, en especial las hormigas. El nido, en realidad la nación, desaparece, pero no así la especie pues cada año, esa sociedad tiene la previsión de lanzar nuevas colonizaciones, con nuevos reproductores. Eso es exactamente lo que ha pasado con todas las civilizaciones humanas a lo largo de la historia. Manco Cápac y Mama Ocello salieron del Lago Titicaca como Adán y Eva y crearon el imperio Inca que en poco más de tres siglos dominó América del Sur. Pero, como ocurre en los nidos de los insectos, al morir los reyes o reinas descuidados o traicionados por sus servidores corruptos, aparecen dos o más príncipes con sus respectivos bandos de soldados para disputar el dominio. Y el enemigo español aprovechó. El paralelo no puede ser más evidente... pero ¿hasta qué punto es válido para la sociedad humana global actual?

Para esta especulación se usan, bajo el nombre de insectos sociales a sólo dos grupos de insectos: las termitas superiores (Termitidae) y las hormigas cortadoras de hojas (*Atta* y *Acromyrmex*, que pertenecen a la subfamilia Myrmicinae) pues, de todas, esas son las reúnen las especies más sociales, conocidas y estudiadas. La familia Termitidae congrega más de un centenar de especies y los dos géneros de hormiga mencionados reúnen 47 especies. Pero, es importante señalar que, para facilitar, en el texto que sigue no se diferencia entre las especies por lo que, en realidad, no todas las características que se señalan corresponden a todas.

Esos insectos son mucho más antiguos que la especie humana (*Homo sapiens*). Esta, tiene apenas entre 200 y 300 mil años sobre la tierra. Aunque el primer homínido conocido fue el *Australopithecus afarensis*, que apareció hace unos 3 a 4 millones de años, es difícil afirmar que tenía una vida realmente social. El *Homo neanderthalensis*, la otra especie casi humana y cruzada con esta, desapareció unos 40 mil años atrás y estos si



Las ciudades fortificadas de las termitas, si llevadas a escala humana, las superarían en todo: dimensión, organización, abastecimiento, manejo de residuos, seguridad.

tenían una vida social e, inclusive, se cree que poseían un lenguaje. Mas, por ser cazadores formaban grupos menores. Ya las termitas aparecieron hace 150 millones de años y se sospecha que comenzaron a vivir en colonias hace unos 100 millones de años. Es interesante recordar que las termitas tuvieron su origen en las cucarachas a cuyo orden (Blattodea) pertenecen y que estas también tienen vida social, aunque menos sofisticada. Las cucarachas, obviamente, son grandes triunfadoras en el arte de sobrevivir a través del tiempo y de

las crisis de todo tipo. Y aunque las hormigas son menos antiguas que las termitas, ya tienen unos 50 millones de años en el planeta. Es decir que los seres humanos son muy recientes en la Tierra. Sin embargo, han tenido una evolución extraordinariamente rápida si comparado a termitas y hormigas.

Termitas, hormigas y humanos no son, por cierto, los únicos animales eusociales, es decir con el más alto nivel de organización social. Hay varios otros grupos de insectos, algunos crustáceos y hasta dos especies de mamíferos, de los que el más conocido es el caso de la rata topo ciega sin pelo (*Heterocephalus glaber*). Y se sospecha que hay bacterias que son eusociales y asimismo pareciera que, con algunas variantes, eso se puede aplicar a árboles y otras plantas. Entre estas ese hecho ha sido prácticamente demostrado para algunos helechos.

También se debe precisar que la validez de las comparaciones entre la vida social de los insectos seleccionados y la de la especie humana depende mucho del momento al que corresponden los hechos considerados semejantes o diferentes. En efecto, la evolución de las sociedades de termitas y hormigas, como indicado, fue lenta y se realizó a lo largo de muchísimos millones de años. La de los humanos, en cambio, es fruto de unos cientos de miles de años y, desde que existen sociedades humanas propiamente dichas, se hizo en apenas pocos milenios, es decir que los cambios fueron y son muy rápidos. Aun así, del mismo modo que las sociedades humanas evolucionaron desde la vida esencialmente familiar y luego tribal a las civilizaciones complejas actuales, los insectos también cambiaron por efecto de la selección natural y de las mutaciones. En general, se usa la información que se supone vigente, pero, en el caso humano, es justificado mencionar como era esa sociedad en su pasado histórico.

La capacidad para competir, o si se prefiere la habilidad para sobrevivir y predominar sobre

los competidores de otras especies (competición interespecífica) es factor determinante para la evolución y para el éxito de una especie. Si la especie humana, como las de hormigas y termitas, no hubiese competido exitosamente contra otras especies no existiría. Prevalció porque supo comunicarse mejor y agruparse, es decir formar sociedades cada vez más complejas y eficaces. Los humanos consiguieron matar y comer enormes mamuts y hacer adornos con los dientes de sable de los tigres. Es la única especie que dominó el fuego y que inventó lenguajes suficientes para coordinar y enseñar. lo que culminó con la escritura. Antes de eso, los viejos eran las bibliotecas vivientes. Cuando los humanos agotaron las presas salvajes inventaron la ganadería y cuando los grupos crecieron mucho y la colecta de semillas y frutos no fue suficiente inventaron la agricultura. Los Neanderthal y los humanos fueron los únicos animales que se cubrieron de pieles para soportar el frío y que construyeron las primeras chozas porque las cavernas no eran suficientes para albergarlos. Esos primitivos se asociaron a los lobos, a los que convirtieron en perros dando lugar a una larga y mutuamente provechosa simbiosis. Era necesario un orden para la caza y la defensa y por eso los más fuertes o inteligentes se convirtieron en jefes y en brujos. Estos a cambio reclamaron o impusieron privilegios. Los brujos asociados a los jefes inventaron creencias y luego dioses y religiones, llenas de dogmas para imponerse sin discutir.



La diversidad de nidos de termitas es enorme y han alterado el paisaje en muchas partes del mundo.

A medida que la población crecía hacía falta más tierra para cazar o criar animales. Entonces descubrieron la agricultura y comenzaron las disputas por espacio con los humanos vecinos y, por eso, los grupos de cazadores se convirtieron en una casta armada que, luego, más numerosos, necesitaron comandantes. Los artesanos se convirtieron en técnicos e inventaron herramientas, especialmente armas; los brujos se dividieron en lo que ahora se conoce como médicos, que más tarde hicieron hospitales, pero en su mayoría prefirieron dedicarse a propagar

sus elucubraciones para explicar la naturaleza de las cosas y lo que nadie comprendía e inventaron creencias que, andando el tiempo, dieron lugar a las religiones; los caciques o jefes crearon linajes de gobernantes hereditarios y los justificaron como de derecho divino. El crecimiento de las poblaciones formando grupos cada vez más densos obligó a construir casas y aldeas mayores y luego edificios o sea casas sobre casas y, finalmente, los humanos llegaron donde están. Es decir, una sociedad extremadamente compleja pero que, escarbando muy poco, no puede ocultar su animalidad. Al final, los humanos modernos como todos los seres vivos se reproducen, se alimentan, compiten y mueren.

2. COMENTARIO METODOLÓGICO

Dada la amplitud del tema y la finalidad de esta nota, el autor ha optado por no citar referencias específicas para las informaciones entomológicas las que, además, son bastante bien conocidas. Las referencias sobre ese tema aparecen apenas como obras consultadas. En cambio, al discutir o comentar aspectos relacionados a la especie humana, cuándo necesario, se citan referencias concretas. Por eso las referencias están separadas en consultadas y citadas.

Es importante remarcar que las referencias a los insectos sociales son genéricas y no específicas. Por tanto, algunas de las características vitales comentadas pueden corresponder a una especie o grupo y no a otras ni a todas.

3. LO QUE ES MUY PARECIDO O EQUIVALENTE

En la tabla 1 se resumen las principales similitudes y también las diferencias entre las sociedades de hormigas y termitas y la humana, a las que se pasará revista una a una, resaltando apenas algunos hechos. Cuando se habla de semejanzas no se dice, obviamente, que sean iguales. En realidad, lo que se pretende es establecer la equivalencia de hechos en función del éxito de la especie para proliferar, sobrevivir y dominar el ambiente del que depende.

Organización social. Como bien se sabe tanto insectos como humanos tienen sus sociedades organizadas en castas, claramente, unas encima de otras, es decir superiores, con pocos arriba y muchísimos debajo de la pirámide, conformando organismos enormes y complejos (Detrain & Deneuburg 2006). Pagano (2020) trata de explicar por qué humanos e insectos son los únicos animales que tienen castas, sugiriendo que eso se debe a que la selección sexual permite especializar el trabajo en la prole. En humanos las castas existen desde la antigüedad. El caso de la India, con los intocables abajo y los brahmanes arriba, que aún perdura, se replica con variantes en todas las naciones del mundo y, claro, era mucho más acentuado en el pasado cuando existían esclavos y siervos. La casta superior, la nobleza gobernante, no trabajaba y era alimentada y servida por los de abajo, es decir agricultores, constructores y servidores, mientras que el conjunto era defendido por los soldados que pertenecían a una casta intermedia, menos numerosa pero siempre cercana a la nobleza. Esas castas del pasado, típicas de las aristocracias, teocracias o simplemente de las dictaduras (autocracias), han sido en cierta forma alteradas cuando surgieron formas de gobierno como plutocracia, cleptocracia, oclocracia y, claro, con las inúmeras variantes del socialismo y de la democracia. Pero, escarbando muy poco se constata que las castas, ahora llamadas clases sociales, se mantienen firmemente hasta en las democracias más avanzadas, con los operarios viviendo en comunidades pobres o miserables en la base.

En los insectos es igual con la diferencia importante de que la reina y, de existir el rey,



Termitas en las que se aprecian varios obreros y dos soldados. los primeros son la casta más numerosa.

gobiernan más como reproductores que como mandatarios efectivos, aunque en algunas especies la reina tiene capacidad de emitir órdenes químicas, como para el inicio de vuelos nupciales o definir el destino de las ninfas y/o de los pseudoergados (individuos en estado post larval que pueden transformarse en alguna de las castas). Pero viven en el corazón del nido, en recinto especial fortificado celosamente protegidos por soldados y alimentados y servidos por todos, no trabajando excepto en su función reproductora. Cada casta y sub

casta tiene funciones precisas pero los obreros son los que hacen todo el trabajo pesado, en construcción, agricultura y mantenimiento y, eventualmente, en la defensa.

En resumen, considerando que las castas o clases sociales humanas son, asimismo, bastante inamovibles, aunque, claro, hay excepciones puede concluirse que en ese rubro hay una extraordinaria equivalencia entre esos insectos sociales y las sociedades humanas.

Ciclo vital. Todas las sociedades, tanto animales como humanas, pasan inexorablemente por el mismo ciclo, que implica el comienzo o fundación, seguida del crecimiento de la población y del espacio controlado hasta un apogeo que es determinado, en general pero no únicamente por la capacidad de soporte del medio o por los límites definidos por otras sociedades, es decir la frontera. Pero hay otros factores que se pueden agrupar bajo el título de decadencia. No existe excepción a esto entre las hormigas y termitas sociales ni existió, tampoco, entre las sociedades humanas, llámense pueblos, naciones o países. Las sociedades o colonias de insectos pueden durar mucho, tanto como hasta 30 años en algunas especies de termitas y hasta unos 10 años en el caso de las hormigas.

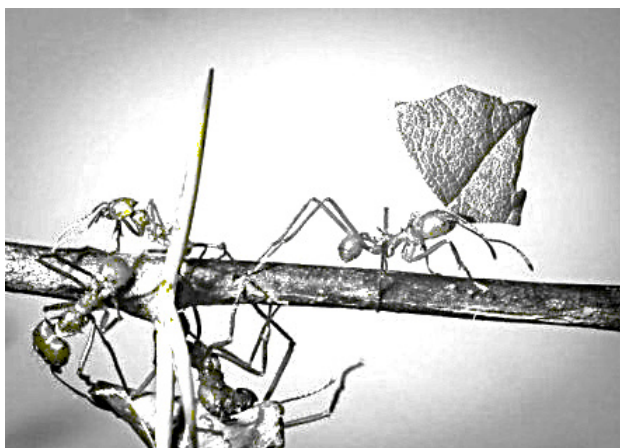
En insectos el fin de la sociedad comienza con cierto desorden social y/o con el debilitamiento y la muerte de la reina, lo que dispara mecanismos químicos para sustituirla, apareciendo las reinas neoténicas (a partir de los pseudoergados). Esto suele dividir la lealtad de los súbditos generando luchas internas y divisiones territoriales dentro del nido lo que brinda oportunidad a otras especies para atacar, especialmente hormigas si el nido es de termitas, y destruirlo.

El choque entre esas sociedades implica conflictos con todas sus soluciones bien conocidas, que incluyen desde la conquista hasta opciones equivalentes al armisticio, pasando o no por la pérdida de parte del territorio de uno u otro. La conquista implica, en insectos, el fin de la sociedad dominada pero no necesariamente el fin de la especie que previamente colonizó otros espacios y construyó una nueva sociedad con el mismo patrón. Es igual con

los humanos en que prácticamente ninguna conquista implicó el fin de los derrotados ni de sus sociedades, aunque pueden ser absorbidas, transformadas y/o utilizadas por la sociedad triunfante.

Diversidad generacional/crías cuidadas comunitariamente. Este es un asunto considerado determinante para dar el status de sociedad avanzada a las de los insectos aquí citados. En efecto, si bien es común en la naturaleza que los progenitores cuiden de las crías (ninfas en termitas y larvas y pupas en hormigas) hasta que estas se valgan por sí mismas, es extremadamente raro que en el mismo grupo existan diversas generaciones y que las crías de cualquier generación sean igualmente protegidas por operarios especializados, no por los progenitores. En esto, el paralelo entre insectos sociales y humanos es muy grande. En las sociedades humanas: (i) coexisten todas las generaciones vivas y, (ii) el cuidado de las crías es, cada vez más, delegado a la sociedad donde trabajadores especiales, “amas de leche”, maestros y maestras las educan en nidos, escuelas, colegios y hasta en universidades. Como en los insectos, que atienden a la reina madre cargando y cuidando los huevos hasta el estado de ninfa, el cuidado humano por la descendencia comienza con la medicina neonatal, sus médicos y enfermeras y se prolonga hasta el colegio.

Alimentación/Agricultura. Como bien se sabe, la agricultura dio lugar a las civilizaciones, es decir a las grandes sociedades humanas. En esencia, todo comenzó gracias a la selección



Hormigas cortadoras de hojas y cultivadoras de hongos. Sus sociedades son tan o más complejas que las de las termitas.

y domesticación de plantas, hace unos 12 a 15.000 años. Para las hormigas cortadoras de hojas eso comenzó hace quizá tanto como 25 millones de años. En efecto, esas hormigas que más propiamente deberían llamarse “agricultoras” viven del cultivo de hongos en recintos especiales dentro de sus nidos, con humedad y temperatura controladas, sobre un medio preparado en base a las hojas que colectan con cuidado, escogiendo las plantas más adecuadas para el éxito de sus plantaciones a las que cuidan celosamente, eliminando plagas y enfermedades, inclusive usando

secreciones de sustancias tóxicas (Li et al 2018). Cosechan regularmente el hongo lo que a veces se llama “cabezas de ambrosia” que constituyen el alimento de la reina y de los demás miembros de la sociedad, en especial de los soldados. Obviamente, para alimentar sus enormes poblaciones deben mantener la producción por lo que la renovación del sustrato en base a hojas implica un desfile constante de cargadoras de hojas, desde el lugar en que las cortan. Construyen, para eso, verdaderas carreteras que mantienen limpias para facilitar el transporte. Es más, se ha comprobado que las hormigas *Atta* detectan caídas pronunciadas de la presión atmosférica, señal de lluvias y vientos fuertes inminentes, lo

que las hacer acelerar mucho el corte y transporte de hojas, de modo a evitar cualquier disrupción de la producción de alimentos que tendría graves consecuencias. La relación entre las hormigas y el hongo es típicamente simbiótica, mutuamente beneficiosa, ya que el hongo posiblemente no prosperaría fuera de los nidos y sin el cuidado que recibe.

La similitud de la agricultura de esas hormigas con la agricultura humana es enorme. Pero, obviamente, la escala, la diversidad de plantas cultivadas y el equipamiento del que ahora disponen los humanos es avasalladoramente mayor. También existe ganadería en hormigas, pero no en el caso de las especies mencionadas, aunque como se verá en otro acápite, pueden aceptar otros animales en sus nidos.

Varias especies de termitas también son cultivadoras de hongos y estas lo hacen de modo muy similar a lo descrito para las hormigas, aunque las especies de hongos no son las mismas. Pero otras han evolucionado a un proceso de producción de alimentos equivalente, pero bien diferente, pues se produce totalmente dentro del tracto digestivo y no externamente como en las hormigas, otras termitas y los humanos. En efecto, éstas, cuya materia prima también es vegetal, en este caso en general madera en los más diversos estados, proveen ese insumo a sus especies simbióticas, protozoos, que viven dentro de su tracto digestivo que descomponen la celulosa y la lignina y ofrecen a las termitas los insumos alimenticios necesarios y suficientes. Esos alimentos son ofrecidos a la sociedad, otra vez en particular a la reina, ninfas y soldados en forma de deyecciones anales o en otras especies por regurgitación (trofalaxia). Si bien esta forma de producir alimentos es muy diferente de la humana, debe tenerse presente que gran parte de la digestión y consecuente nutrición humana depende de simbiosis con bacterias, es decir en forma análoga.

TABLA 1. SEMEJANZAS O EQUIVALENCIAS Y DIFERENCIAS ENTRE LAS SOCIEDADES DE INSECTOS Y LAS HUMANAS

Características de las sociedades	Hormigas y termitas	Humanos
Organización social por castas	Si	Si
Fundación, crecimiento, apogeo, perigeo, debacle, refundación.	Si	Si
Diversidad generacional	Si	Si
Cuidado comunitario de crías	Si	Si
Agricultura/alimentación	Si	Si
Viviendas/ciudades/planeamiento/basureros/cementerios	Si	Si
Trabajo obligatorio/división del trabajo	Si	Si
Defensa/Policia	Si	Si
Dominio espacial/exclusión de enemigos y competidores	Si	Si
Vuelo	Si	Si
Corrupción/desobediencia/desorden	Si	Si
Lenguaje/comunicaciones	Si	Si
Memoria social/colectiva	Si	Si
Disciplina social	Si	Si
Reproducción delegada a una casta	Si	No
Individualidad/abstracción/consciencia/originalidad	¿No?	Si

Conciencia/Sentimientos/dolor	¿No?	Si
Herramientas/ Dominio del fuego	¿No?	Si

Ciudades/viviendas/urbanismo. Este es un tema en que las similitudes entre insectos sociales y humanos son extremas y las diferencias son pocas (Alon et al 2014). En efecto, los “nidos” son, en realidad, ciudades o, por lo menos edificios colosales y muy complejos. Los de hormigas y termitas sociales que construyen en la tierra pueden tener, en su apogeo, de 3 a más de 8 millones de individuos y tener diámetros de 30 hasta 80 metros y conexiones subterráneas sobre áreas aún más extensas en el caso de hormigas y hasta 8 metros de altura en el caso de las termitas. Pero, por lo común, tanto en hormigas como en termitas, la edificación subterránea es aún mayor que la aérea. En escala humana los nidos de algunas termitas multiplican la altura de los mayores edificios ya construidos. Las construcciones son sofisticadas, con innúmeras divisiones internas especializadas para diferentes usos, conectadas por corredores. Prevén abastecimiento de agua, buena circulación del aire o ventilación y drenajes en caso de lluvias e inundaciones. El material de construcción es producido por ellos mismos, principalmente con arcilla, excrementos y saliva y llega a ser tan sólido y perdurable como las mejores obras humanas. Su eliminación para establecer agricultura humana es muy laboriosa y frecuentemente requiere usar dinamita o tractores. Los nidos de termitas edificados sobre árboles son menores pero su complejidad y sus conexiones tubulares con la parte terrestre y aérea son proporcionalmente inmensas.

Las ciudades de esos animales son extraordinariamente bien planificadas. Se instalan o, por lo menos, sobreviven cuando los fundadores escogieron adecuadamente el lugar de la colonia. Disponen de basureros y cementerios separados dentro o fuera del nido, acceso a fuentes de agua bien sea mediante túneles o directamente del subsuelo y sus sistemas de ventilación aseguran una temperatura adecuada independientemente del clima externo... en verdad, disponen de aire acondicionado. Y tienen brigadas de reparación de daños siempre prontas a evitar la entrada de luz en el caso de las termitas, agua de lluvia o enemigos. Las termitas inventaron hace millones de años la figura del domo protector de la ciudad que la ciencia ficción ha puesto de moda. De otra parte, en algunos casos, las ciudades de sociedades desaparecidas son reutilizadas u rehabilitadas por la misma u otra especie.

Las ciudades de las termitas han impactado el paisaje humano en formas evidentes hasta desde el espacio, formando los famosos “círculos o anillos de hadas” que son frecuentemente visibles en el noreste brasileño, en Namibia, Angola y muchas otras partes áridas o semiáridas del mundo (Jürgens et al 2021). Claro que existen otras teorías para su formación, pero la más probable, como en el caso de las de Bahía, en Brasil, son secuelas de antiguos nidos y actividad de termitas que alteran el drenaje o infestan el suelo con hongos alrededor del nido.

Uso de los recursos naturales. No hay duda de que la capacidad humana para aprovechar los recursos naturales del ambiente en que viven es muy superior a la de los insectos sociales,

especialmente en la actualidad porque están dotados de herramientas. Pero no siempre fue así y durante cientos de miles de años no usaron mucho más que los insectos sociales: piedra, arcilla, madera, hojas, frutos, semilla y tallos de plantas, animales y, claro, agua. Cuando los insectos ya desarrollaban agricultura simbiótica sofisticada que les aseguraba alimentación los humanos apenas eran recolectores y cazadores. De hecho, como se ha visto, los insectos sociales extraen del ambiente lo que necesitan, tanto recursos no renovables (arena, arcilla) como renovables (agua, partes de plantas, madera, hongos).

Trabajo, división del trabajo. Otra vez, en este rubro el paralelo entre insectos sociales y humanos es extremo. Aunque hay discusión sobre lo que es trabajo de animales en términos filosóficos y económicos (Arendt 2005), no es discutible que el trabajo es inherente a la vida y que, en insectos, se expresa en esfuerzo físico (Odum & Barrett 2006). El trabajo para las castas inferiores en las sociedades de insectos es compulsivo e ineludible. Los operarios nacen para trabajar y mueren



Las ciudades de esas hormigas ocupan espacios enormes tanto debajo de tierra como alrededor.

trabajando. Si eso es examinado con objetividad esa es, asimismo, la realidad humana (Marx 1867), aunque en este caso hay más posibilidad de cambiar de trabajo a través de la ascensión social. En la sociedad humana si se quiere comer, criar hijos y obtener los premios que los individuos desean, como sexo, poner hijos en la universidad, embellecerse, disponer de un celular o de un automóvil, hay que trabajar física y/o intelectualmente mucho. Las excepciones a esa regla son pocas. Aunque pueden practicar el ocio, el trabajo para los humanos, es tan compulsivo e inevitable como para las termitas y hormigas. Y no es sólo el caso de los trabajadores manuales... es casi igual para la inmensa mayoría de los que trabajan más con el cerebro. En la actualidad ni los ricos y poderosos escapan a esa regla. Tampoco los criminales. Además ¿qué se haría con el tiempo disponible si no se trabajara?

Y como se ha mencionado al tratar de castas, el trabajo es dividido. Cada casta y sub casta tiene tareas específicas a las que no escapan los soldados ni la diversidad de obreros. Los primeros cumplen funciones de defensa tanto como, aparentemente, de “policía” y no siempre son los mismos individuos haciendo eso. Los obreros se subdividen en individuos morfológicamente diferenciados y con diversos tamaños, adecuados a su función, sean nurses o enfermeras, agricultores, cortadores y cargadores, albañiles además de basureros y sepultureros. En hormigas cortadoras de hojas se ha descubierto recientemente que los individuos pequeños que viajan encima de las hojas cargadas por otros, aparentemente disfrutando del paseo, tienen la función de evitar que insectos parásitos depositen huevos entre la cabeza y el tórax de las cargadoras.

Lenguaje y memoria. Hoy se sabe que estos insectos tienen lenguajes relativamente complejos basados en feromonas, vibraciones y hasta sonidos. En cierta forma se comunican “sin querer” pues emiten automáticamente alguna señal reconocible por los demás como reacción a un hecho visto o sentido. Las cabezas y las antenas juegan un rol crucial en la transmisión de los mensajes. Esos insectos producen feromonas emitidas por sus cutículas (hidrocarburos cuticulares) con composición química propia en cada especie. No es, pues, un lenguaje articulado y complejo emitido a discreción por el individuo como en el caso humano, pero el resultado para los fines perseguidos, como comunicar el hallazgo de alimento o alertar por la presencia enemiga o por una avería en la cobertura, es equivalente y funciona bien.



Las hojas seleccionadas y tratadas se convierten en el sustrato para la producción de los hongos que alimentan a la población.

Los insectos sociales no parecen poseer memoria individual ni, obviamente, escritura y bibliotecas, pero eso no impide la transmisión de las experiencias positivas o eventualmente de las mutaciones que les fueron útiles para sobrevivir mejor y que ganaron a lo largo de su evolución. Es decir que en ellos hay cierto nivel de memoria colectiva a través de la herencia y que permite resolver problemas, inclusive imprevistos. El lenguaje es un instrumento de la memoria colectiva y vehículo de la inteligencia a la que ayuda a multiplicarse en la sociedad. La selección natural permitió que esos cambios sean genéticamente registrados y que esos algoritmos se mantengan a través del tiempo. Pero nuevos descubrimientos sugieren que los sistemas vivos procesan información de modo no siempre algorítmico, lo que indicaría cierta

autonomía en el procesamiento de la información tanto a nivel individual como colectivo (Maldonado 2012, Maldonado y Gómez-Cruz 2017).

Vuelo. Los insectos sociales vuelan cuando necesitan hacerlo como lo es en el periodo reproductivo. Los humanos no tienen, individualmente, la facultad de volar sin equipamiento. Pero han aprendido a volar usando aparatos especiales.

Las termitas no nadan, pero en cierta forma navegan. Se especula que pese a ser originarias de África ocuparon el mundo entero. Lo hicieron a partir de las especies de millones de años atrás que hacían sus nidos enteramente dentro de troncos, los que eran arrastrados por los ríos después de lluvias torrenciales y llegaban al mar donde, a modo de barcos o submarinos llevados por las corrientes, llegaron a los demás continentes. En épocas

recientes ese transporte ha sido obra humana involuntaria a través del comercio.

Corrupción/desobediencia. Es fascinante saber que las sociedades de insectos pueden padecer de los mismos problemas que las de los humanos. No son perfectas ni indemnes al desorden y, si se quiere, a la corrupción. Eso ocurre en especial durante el apogeo del desarrollo de la sociedad y suele ser una de las causas del perigeo o decadencia y de su destrucción total. Dependiendo de las especies, puede ocurrir que se introduzcan al nido, inclusive por los propios individuos otras especies de insectos que producen olores, feromonas, muy atractivas que sustituyen las drogas bien conocidas de los humanos. Esos insectos, comensales o parásitos, son alimentados como todos por trofalaxia y cuidados por individuos que por eso dejan de trabajar. Y hay especies comensales que se reproducen por generaciones dentro de los nidos. En otros casos los propios servidores de la reina, que para ser atendida emite feromonas que resultan gratas, comienzan a hierirla estimulándola a producir más y más de tales sustancias pudiendo ocasionarle infecciones y la muerte. También se ha registrado casos, siempre en nidos que ya se acercan a la edad límite, que individuos dejen de obedecer a sus deberes, como si las órdenes químicas se diluyeran o dejaran de surtir efecto, creándose un caos creciente.

Defensa/policía. La defensa es esencial para todas las especies. Toda especie tiene enemigos o, si se prefiere, tiene otras especies que desean usarla como alimento. Y, a lo largo de los milenios, termitas y hormigas han acumulado una legión de enemigos predadores, variable de región a región. Incluyen mamíferos, aves y reptiles, pero, de todos, los principales enemigos en el caso de las termitas son las hormigas, en especial las militares o legionarias que, pese a ser sociales, carecen de nido. También hay, por cierto, un gran número de otros insectos que se alimentan de ellos, así como sufren por presencia de parásitos diversos.

Por eso termitas y hormigas han desarrollado poderosos ejércitos conformados por soldados genéticamente modificados, en los que no existen dudas ni murmuraciones, es decir, el sueño de los jefes de los ejércitos modernos. Su número es en general pequeño en relación al tamaño de la población, pero se adecúa a la necesidad, ya que individuos pseudoergados pueden ser destinados a engrosar las filas si hay emergencia o falta de tropa. Los soldados de esos ejércitos son considerablemente más grandes y fuertes que los operarios y están munidos de armas ofensivas diversas, según las especies que incluyen, obviamente armas punzo cortantes capaces hasta de obligar a los osos hormigueros a sacar la lengua del nido. También tienen armas químicas, como en los *Nasutitermitinae*. Estos producen una sustancia repelente que consiguen proyectar a una distancia considerable sobre el enemigo. Por lo menos una especie utiliza obreros viejos que desarrollan un problema intestinal que dilata sus abdómenes como explosivos contra los atacantes. En efecto, al ser mordidos estallan liberando una sustancia letal que baña al invasor. También tienen equipamiento defensivo, en forma de corazas sobre sus cabezas y otras partes del cuerpo. Hay especies de hormigas que han desarrollado armaduras naturales de calcita con magnesio que forman cristales en forma de placas y que son sumamente fuertes (Li et al 2020).

Otra gran ventaja de esos ejércitos es que, aparentemente, los soldados no sienten dolor o, si hay, consiguen reprimirlo y seguir combatiendo hasta la muerte pese a estar completamente mutilados. Las infraestructuras usadas por los militares humanos, escaleras o puentes, por ejemplo, son realizadas por los cuerpos de los soldados insectiles. Los heridos sobrevivientes son simplemente descartados. No hay hospitales. No hay sufrimiento ni pena. Eso tiene mucha semejanza con la idea moderna de los cyborgs (humanos mejorados cibernéticamente o biomecatrónicos) o del “soldado universal” (humanos genéticamente mejorados para combatir sin restricción física o moral). Sin embargo, como se menciona en otro acápite, existen evidencias crecientes que los insectos sienten dolor (Barret & Fischer 2023, Gustafson 2023).

No es obvio que esos ejércitos tengan generales y, en verdad, no los necesitan. En caso de ataques ellos reaccionan automáticamente a las feromonas de alerta que son emitidas. Pero, a simple vista pareciera que existen líderes que, otra vez, destacan por el tamaño. Las funciones policiacas de esos soldados no son diferenciables en todas las especies, pero sin duda juegan un papel determinante en la muerte y evacuación de intrusos.

Orden social/disciplina. Como ya se ha mencionado en las sociedades de insectos el orden o la disciplina social existe de facto, pues está determinada genéticamente y modulada por las feromonas emitidas por el conjunto o por la reina y, para ordenes “menores”, por otros individuos a través de sus opciones de lenguaje bioquímico. Pese a eso, como antes mencionado, ese orden es a veces quebrado, especialmente al final del ciclo de la sociedad o a consecuencia de un cataclismo o de una invasión.

En las sociedades humanas existió y, obviamente existe, un orden social determinado e impuesto desde milenios atrás, primero por los jefes y ancianos y, en las civilizaciones, impuestas por las autoridades constituidas por elección popular o, simplemente, autoconstituidas. Las religiones y las creencias, así como las leyes, rigen la sociedad humana y son obedecidas para bien o para mal, con el uso de la fuerza. Aunque en sociedades democráticas esas leyes son, en teoría, fruto de la decisión de las mayorías, no dejan de ser un elenco de restricciones a la libertad individual.

De un modo u otro, desde el punto de vista del resultado tanto para la sociedad como para los individuos ambas formas de imponer orden en la sociedad son equivalentes.

4. LO QUE PARECE SER MUY DIFERENTE

Aparte de la reproducción que en los insectos sociales es “delegada” y “especializada” las similitudes entre las sociedades de estos y las humanas son, pues, numerosas y apabullantes. Pero en cada ítem analizado subyace una diferencia que, hasta el presente es considerada por la mayoría como fundamental... los individuos de las sociedades de insectos hacen todo lo que hacen sin saber por qué lo hacen. Se concluye que no piensan y

que todos son igualmente obedientes, “sordos, ciegos y mudos”. Sólo hacen lo que “deben” y, al parecer, sienten poco o ningún dolor, menos aún pena. No obstante, como se ha visto, se están construyendo dudas razonables sobre la afirmación anterior pues, además de que los insectos podrían sentir dolor también se sabe que pueden sentir placer, cómo cuando se vician en drogas. Además, como se discutirá, el concepto de inteligencia colectiva o de enjambre es real y quizá se aplique por igual a insectos y humanos.

Reproducción delegada. En los insectos sociales la reproducción no es realizada individualmente. Es encargada a un individuo, la reina, que se transforma así en una máquina de poner huevos. Eso garantiza la homogeneidad genética, es decir un solo genoma para todos, pero con fenotipos muy diversificados para cada casta. Y, obviamente, hay diferencias de ADN entre nido y nido, lo que permite a cada sociedad a diferenciar los individuos.

Se cita, para termitas, la producción de unos 3.000 hasta 30.000 huevos por día durante 10 a 15 años. Así esas hembras, que cuando eran princesas tenían un tamaño normal, desenvuelven un abdomen descomunal, hasta centenares de veces mayor que los individuos normales. Funcionan, literalmente, recibiendo alimentos por un lado y botando huevos por el otro, como las gallinas ponedoras en los gallineros modernos. La reina es servida en ambos extremos por legiones de servidores, unos entregadores de comida y los otros, nurses o enfermeras, en este caso encargadas de disponer los huevos y cuidarlos hasta la eclosión y durante el periodo larval inicial, en recintos especiales. También hay operarios para retirar los excrementos. Dependiendo de las especies el rey copula una sola vez, acumulando esperma en la espermoteca de la hembra y muere o, en otras, acompaña a la hembra a la que fertiliza de tiempo en tiempo durante toda la vida, pudiendo ser sustituido si es necesario.

Es pues un sistema reproductivo extraordinariamente eficiente. Y, según estudios recientes, podría serlo aún más pues se han encontrado una que otra especie en que hay poblaciones en que la reproducción es partenogenética, es decir sin intervención de machos, lo que es resultado de la evolución y que, obviamente, es aún más eficiente.

Este es un aspecto en que la diferencia con la sociedad humana es muy grande pues en esta la reproducción es decidida y realizada por parejas de individuos y eso es una garantía de heterogeneidad. Sin embargo, en cierta forma la reproducción delegada no es desconocida en la humanidad, con un macho copulando y fertilizando muchas hembras como en los harems árabes o con “el derecho de pernada” del medioevo y, aparentemente, ocurría en cierta medida en las pocas sociedades matriarcales conocidas. Pero aún en esos casos cada individuo nacido tiene un genoma diferente.

Individualidad, inteligencia, consciencia, abstracción, imaginación. Este es un tema particularmente complejo en virtud de nuevas teorías y descubrimientos. A priori, en base al conocimiento convencional, el hecho de cada individuo sea único es, sin duda, la principal diferencia entre insectos y humanos. La individualidad no se limita a diferencias

físicas, sino que se revela especialmente en la cualidad propia de un individuo definida por su consciencia (capacidad de darse cuenta de algo, de percibir la realidad) e inteligencia y sus atributos individuales de abstracción e imaginación.

Mientras que los insectos hacen lo que hacen sin saber por qué ni para qué, los individuos humanos, a priori, saben lo que hacen. Desde la aparición de la especie y posiblemente en las de homínidos que le antecedieron, había individuos con personalidad única y decisiones diferentes. Hay cierta consciencia e individualidad en muchos otros animales, especialmente en los grupos más próximos a los humanos como los mamíferos, pero ninguno alcanzó el nivel de estos. Y todo indica que esa es la fuente de la extraordinariamente rápida evolución humana.

No obstante, el tema de la individualidad tiene otras facetas. No hay dudas que los individuos de los insectos sociales poseen cierta independencia que se observa a simple vista. Por ejemplo, hay hormigas solitarias exploradoras que procuran las plantas cuyas hojas son adecuadas. Estas, aunque guiadas por sus instintos, escogen la planta y la ruta de ida y de vuelta. También esos insectos resuelven los obstáculos que enfrentan, contornándolo o eliminándolo. Pueden reaccionar siendo atraídas o repelidas y hasta donde se ha visto, muchas gustan del azúcar. Existe en ellos, pues, un grado de libertad cuyos límites no son bien conocidos pero que no conforman una individualidad plena como la humana.



En principio, los insectos no piensan, no escriben ni tienen bibliotecas. Pero sus actos responden a previsiones genéticamente marcadas que atienden a las más diversas eventualidades.

Analizando este tema desde una perspectiva mucho más amplia, se puede asumir que la consciencia y la inteligencia, son atributos de la vida y que, en ese sentido insectos y humanos las comparten, al igual que con otros seres (Maldonado 2012, 2016, 2019, Maldonado y Gómez-Cruz 2017). También comparten la llamada “inteligencia de enjambre” (Beni & Wang 1989) y por ende, como es evidente, la capacidad de comunicación y autoorganización. Maldonado recuerda que los seres vivos también pueden

procesar grupalmente información colectiva de modo no mecánico, siendo por ende capaces de crear acciones del enjambre, es decir que no siguen siempre un patrón de comportamiento. Como se discute en otra sección, el ser humano tiende a actuar cada vez más como enjambre de modo muy similar a los superorganismos conformados por las hormigas sociales como lo sugieren Detrain & Deneuburg (2006).

La sociedad humana evoluciona poco por las presiones del ambiente y los azares de las mutaciones. Lo hace principalmente por su inteligencia individual, es decir la capacidad de resolver problemas, planear, pensar de manera abstracta, comprender ideas complejas y

aprender de la experiencia y transmitir los avances. Transformaron las ideas, lo abstracto, en hechos concretos y en herramientas, desde el manejo del fuego hasta las piedras labradas, las lanzas y las pinturas rupestres, así como el arte de la caza y el uso de pieles para protegerse del frío hasta las artes y ciencias que han dado lugar a la increíblemente desenvuelta y dominante sociedad humana actual en apenas un salto de unos 15 a 20.000 años, es decir nada comparado a los millones de años de evolución de los insectos sociales. Todo gracias a la individualidad consciente asociada a la inteligencia y a la creatividad en conjunto, en que, debido al lenguaje, especialmente escrito y a su registro, las ideas de unos pueden ser adoptadas y mejoradas por otros, multiplicándolas.

Esas características no eliminaron que las sociedades humanas, como los demás animales y plantas exceptuando los insectos sociales, dependan de la competición intraespecífica. Esta es la base de la sobrevivencia tanto o más que la competición interespecífica. Los polluelos más fuertes y hábiles son lo que, en cualquier nido, atropellan a los más jóvenes que pueden morir pisoteados o de hambre. En busca de la luz las plántulas roban a otras la capacidad de crecer y hasta de sobrevivir. Eso garantiza que solo sobrevivan los más fuertes y hábiles. Pero, dentro de las sociedades de insectos no hay competición pues, como no hay individualidad, competir es innecesario. En efecto, todo está previsto (reproducción, alimento, defensa). Cada una de las termitas u hormigas tiene su destino prefijado e inamovible, es tratada igual y por eso, no necesita luchar contra sus pares para satisfacer sus necesidades. Su evolución depende de otros factores, como la competición interespecífica o las adaptaciones a nuevas realidades tanto por procesos de inteligencia de enjambre como por mutaciones. Quizá, también, por una forma de competición intraespecífica grupal, equivalente a las guerras que han sido factores de selección a lo largo de toda la historia. Los conflictos armados han generado, bajo la presión del momento, gran parte de las invenciones humanas.

Es importante insistir en que, en principio, no hay competencia intraespecífica individual en termitas y hormigas cortadoras de hojas. En cambio, el individuo humano compite con otros humanos desde que nace por absolutamente todo: reproducción, alimentación, trabajo, seguridad, bienes, éxito. Desde siempre, ambos sexos luchan por obtener la mejor pareja y luego por la mejor atención a las crías. En cada familia, en cada escuela y en cada tropa se reproduce el tal orden de picoteo de los gallineros y toda la vida personal depende de los éxitos que permiten subir por los escalones sociales. Pero eso ocurre en las empresas, entre empresas y hasta en la academia y claro, entre países. Es inherente al humano ganar, vencer derrotar, humillar y hasta matar. ¿qué otra cosa son los deportes, expresiones máximas de la competición, sino remedos de combates, con vencedores y derrotados? ¿de dónde viene la indeclinable fascinación de la juventud por las armas y por las guerras? Y ganar, triunfar, también desde hace milenios, se logra mediante el poder que da acumular riqueza y fuerza. Los humanos inventaron el uso de los excedentes de comida y de otros bienes creando la economía que se basa por entero en la competición, tanto a nivel individual como social y nacional. Al final, no importa el medio, el asunto, la

profesión, la cultura o las creencias, todo acto humano se basa en competir para avanzar más y más. Sin embargo, en las sociedades humanas más modernas, la competición por lo básico, es decir el derecho a vivir, ha sido atenuada por la legislación permitiendo que hasta los débiles de cuerpo y mente sobrevivan. Pero ni eso la evita del todo.

Pese a la invención de la justicia y de reglas para brindar iguales oportunidades a todos, los humanos no han podido evitar que el éxito de unos reduzca el de otros. Hay ricos y hay pobres, hay inventores y creadores y hay obreros, hay naciones poderosas y otras miserables. Eso es, indudablemente humano, pero es, asimismo animal y vegetal. Está incrustado en los genes de toda especie, es en cierta forma, la esencia de la vida. Y, en el caso humano, un animal social pero individual consciente e inteligente, la competición intraespecífica se ha desarrollado de modo extremo llevándola, mediante las aplicaciones prácticas de su inteligencia y creatividad al punto en que está ahora.

Sin contradecir la importancia de la competición intraespecífica para la evolución de la especie humana, sea a nivel individual, grupal o de naciones, es importante recordar que, visto desde una perspectiva holística, todos los seres vivos son parte de sistemas muy complejos en que el individuo se reduce a su mínima expresión, es decir un elemento participante de una gran relación simbiótica o, si se prefiere, en la hipótesis de Gaia. En el otro extremo, los seres vivos evolucionados están constituidos por una enorme diversidad de tejidos asociados para realizar tareas comunes armonizadas con las de otros tejidos y a su vez cada uno formados por millones de células que, como se sabe, pueden vivir separadamente en una placa Petri. A eso hay que sumar la enorme y diversa comunidad de microorganismos que viven dentro y sobre los seres vivos complejos. Es decir que como enfatiza Maldonado (2019), la vida debe entenderse como un flujo holístico y relacional, donde cada individuo es siempre parte de sistemas más amplios, cuestionando el individualismo estricto.

Conciencia, sentimiento, felicidad, dolor. En los humanos, además de consciencia individual, abstracta, existe algo que a priori se considera que no existe entre los insectos: la conciencia (pensamientos, sentimientos con peso moral) y el sentimiento. De hecho, hasta donde se sabe, los ejércitos de termitas y hormigas no pierden tiempo curando a los heridos ni alimentándolos. No lloran sus muertos. Si amputan una pata infectada o si tienen cementerios es para evitar contaminación, no por pena. No saben que tienen padre y madre, hermanos, abuelos, tíos o primos. Tampoco tienen hembra o macho propio, pues no tienen necesidad o, simplemente, no tienen sexo. Es más, sus cerebros, hasta donde se sabe, no pueden procesar ese tipo de disyuntiva. Como todo o casi todo lo que hacen es dictado por patrones genéticos y algoritmos bioquímicos, nunca cuestionan lo que tienen que hacer. Los bellos y sofisticados bailes nupciales de muchas aves no son arte. Son resultado de la evolución. En resumen, a priori los insectos no sienten nada. En animales más desarrollados si existen, como bien se sabe, sentimientos o comportamientos que comprobarían su existencia.

Los humanos y sus sociedades tienen consciencia y conciencia, esta expresada en sentimientos; sienten pena y dolor y también se recompensan con la sensación de felicidad que, en ellos, va un poco más allá de la satisfacción de necesidades básicas como espacio, comida, sexo y seguridad. Para muchos la felicidad, aunque difícil de explicar, es algo más, por ejemplo, la satisfacción de lograr algo, es decir del éxito. Nada de eso parece ser conocido en los insectos, sociales o no. Uno de los factores determinantes de la felicidad es estar enfocado en el momento, abrazarlo y tener conciencia de eso y de cada sensación que se atraviesa, no contando con el ayer ni con el futuro. Es decir que, hasta donde se sabe, no hay nada parecido en los insectos. Los sentimientos son los grandes vectores del arte en todas sus modalidades, lo que es una característica exclusivamente humana. Pero los malos sentimientos como el rencor, la envidia y el odio son, asimismo, la causa de muchos de los males y debilidades de la especie humana.

Sin embargo, las aseveraciones anteriores, que son la opinión dominante, inclusive entre los científicos, están siendo revistas. En efecto, en base al repase de algunas centenas de estudios Gibbons et al (2022) concluyeron que hay "fuerte evidencia" de dolor en adultos de Díptera y Blattodea, más aún en especies de Hymenoptera, Lepidoptera y Orthoptera. Otro trabajo reciente realizado con grillos (Montagut-Márquez et al 2025) parece confirmar lo anterior. Obviamente, reaccionar al dolor es un mecanismo de sobrevivencia y no equivale necesariamente a tener sentimientos, aunque algunos piensan que muchos insectos pueden tener experiencias subjetivas (Tye 2016, Birch 2024) e, inclusive, capacidad de memorizarlas (Sherwin 2001). De confirmarse estos indicios y opiniones las similitudes de los insectos sociales con los humanos serían aún mayores.

Fuego y herramientas. Este fenómeno físico-químico es natural, pero cuando manipulado por los humanos ha sido y es el principal factor de cambios drásticos en la biota terrestre. Los animales en general no han hecho uso del fuego, aunque se conocen casos de aves de rapiña que lo propagan voluntariamente para facilitar la caza. Los insectos sociales no manipulan el fuego, pero, por ejemplo, algunas especies de hormigas cortadoras de hojas se benefician del fuego que facilita la propagación de la vegetación preferida para sus cultivos de hongos.

Algunos animales, por ejemplo, en especial aves y mamíferos, usan herramientas. El caso de primates usando palos para quebrar semillas duras y varillas para extraer termitas del nido es bien conocido. Los insectos sociales no usan ni crean herramientas, como los humanos. Pero las suplementaron generando herramientas corporales con modificaciones ad hoc de sus propios cuerpos. Ese es el caso de las ya mencionadas numerosas y diversas armas ofensivas y defensivas de los soldados de termitas y hormigas sociales, cuyas cabezas, dientes y patas son modificadas para esos fines, incluyendo herramientas químicas. Los insectos sociales no inventaron aviones, pero pueden volar individualmente cuando lo necesitan para la reproducción, algo que los humanos no son capaces.

5. ¿QUÉ SOCIEDADES HAN SIDO MÁS EXITOSAS?

Ese es un tema que depende de la definición de “éxito” en el contexto de las especies que integran la vida sobre la Tierra. Esa palabra viene del latín *exitus* y significa final o término. El concepto se refiere al efecto o a la consecuencia acertada de una decisión o acción. Esa definición no ayuda mucho para el caso en discusión pues es una versión puramente aplicada a la humanidad. En efecto. Si no se conoce el propósito de la vida es prácticamente imposible definir su éxito ¿Qué es éxito para una especie? ¿Sobrevivir, preponderar, adaptarse o evolucionar, dominar? Probablemente sea eso, es decir perdurar (asegurar la reproducción, mantener la especie a través del tiempo) dominar (todo lo necesario para vivir, como agua, comida y espacio, es decir conquista o expansión) y tener seguridad (defensa, previsión).

En términos “naturales” tanto las sociedades de insectos como las humanas son triunfantes. Se han sobrepuesto o han manipulado a casi todas las especies con las que se relacionan. No solo dominan los territorios que requieren, sino que han ocupado los cinco continentes, con algunas limitaciones válidas para los insectos, que son más tropicales y subtropicales, y para los humanos, que tampoco realmente conquistaron las regiones más frías. De otra parte, en cuanto a estabilidad a través del tiempo, los insectos llevan una ventaja enorme sobre los humanos, pues las termitas están presentes en la Tierra desde el periodo jurásico y son sociales desde el cretácico, las hormigas desde el eoceno. Esas sociedades han sobrevivido a vicisitudes extremas durante 50 a más de 100 millones de años. En esto fueron muy exitosos. En cambio, los homínidos aparecen en el mioceno y el *Homo sapiens* surge apenas en el pleistoceno. Y se estima que los primeros atisbos de sociedades humanas aparecieron, en el mejor de los casos, hace menos de cien mil años. Esta especie aún no ha demostrado, pues, su capacidad de resiliencia ya que no ha confrontado cambios drásticos, cataclismos universales, como los insectos citados. No obstante, se debe mencionar que hay muchas otras especies de animales y plantas sobre la tierra, entre ellas las que son microscópicas, que han tenido y tienen tanto o más éxito que los citados en ocupación del espacio como en permanencia sobre la tierra y en velocidad de evolución.



Hormigas que se distribuyen equilibrando su peso en la hoja para que la gota de agua no se escurra... ¿inteligencia? ¿experiencia hereditaria?

En lo que los humanos ganan de los insectos sociales es en la rapidez de su desarrollo como sociedad sin evidenciar una evolución o adaptación anatómica o fisiológica y tan solo debido a la inteligencia y la consecuente invención de equipamientos de control o manipuleo ambiental, pese a que aún no resuelve todos los factores adversos del medio. Pero, se debe recordar que los seres microscópicos e, inclusive, muchos

insectos pueden evolucionar más rápidamente que los humanos debido a la brevedad de sus ciclos de vida.

Por otra parte, la especie humana ha tenido más éxito que cualquier otra en combatir, avasallar, rechazar y hasta domesticar otras especies de animales y vegetales. En eso termitas y hormigas se han quedado muy atrás, restringiéndose a los recursos que realmente necesitan. Los principales enemigos naturales de la humanidad son los microbios. Pero, hasta ahora, los ha dominado en base a la ciencia, a la medicina y a los hospitales. Sin embargo, no está libre de nuevas confrontaciones, y quizá de debacles, debido a su densidad creciente y por ende a la competición con especies de microbios de gran mutabilidad y que tantas veces provocaron pandemias letales, de las que la última fue ocasionada por el virus Covid-19. Los riesgos de pandemia aumentan en forma directamente proporcional al crecimiento de la población humana (Dourojeanni 2020).

De hecho, el principal factor limitante para la humanidad es ella misma, es decir la resistencia intraespecífica en buena parte asociada a la densidad, sumada a las alteraciones ambientales que ocasiona, como la contaminación, el cambio climático y el riesgo de las secuelas de una guerra nuclear. En cambio, no hay ninguna evidencia de que los insectos sociales destruyan el ambiente que los soporta y, más bien, contrariamente a los humanos, todo indica que mantienen un equilibrio con los recursos disponibles. Esta afirmación es, obviamente, relativa cuando se agota la madera o las hojas que precisan, lo que en la naturaleza es improbable. No se prevén amenazas especiales para los termitas y hormigas provocados por ellos mismos, pero pueden ser afectados, sin riesgo para su sobrevivencia, por algunas de las debacles provocadas por humanos, como el cambio climático.

¿A qué más se puede llamar éxito? ¿En qué vivir es diferente para humanos e insectos? Desde el punto de vista de la sociedad humana, es decir del grupo o nación, la definición de éxito no puede ser muy diferente de lo que es para cualquier especie, es decir sobrevivir, proliferar, dominar. Ya al nivel individual es más difícil y se refiere a preguntas sin respuesta como ¿para qué y por qué vivir? ¿para lograr la felicidad? ¿para obtener la vida eterna? Sea cual fuere la respuesta, esos objetivos son exclusivos de la especie humana y, en principio, no son los que esta necesita para sobrevivir.

6. ¿HASTA QUÉ PUNTO LA HUMANIDAD NO ESTÁ ENCAMINADA A TRANSFORMARSE EN UNA SOCIEDAD CADA VEZ MÁS PARECIDA A LAS DE LOS INSECTOS SOCIALES?

Pareciera que una sociedad conformada por individuos pensantes, conscientes y concientes, diferentes, como la humana, no podría transformarse en otra en que todos son iguales y donde, aparentemente, nadie piensa y en la que, por tanto, todos hacen lo que deben para asegurar la sobrevivencia apenas en función de la selección natural genéticamente fijada

y de la respuesta a órdenes o algoritmos bioquímicos. Sin embargo, son innúmeras las evidencias históricas en que la individualidad humana, expresada en términos de libertad de actuar y de pensar, ha sido sumamente limitada. Tanto la sanguinaria imposición de fanatismos religiosos como la no menos violenta aplicación de políticas igualitarias, como el comunismo y el maoísmo o totalitarias, como el nazismo, entre tantas otras, son un ejemplo de que, sin apagar totalmente la individualidad, esta se vio extraordinariamente limitada, impactando en el modo de pensar y hasta en la vestimenta, haciendo que toda la casta inferior (operarios) tengan lo mínimo para sobrevivir sin protestar. A los gobernantes, es decir la casta dominante de todos los tiempos, siempre les ha convenido mantener al pueblo controlado y sumiso, sin divergencias ni protestas.

Es evidente que la educación y la democracia son contrapesos a esas tendencias y que, especialmente en los últimos dos siglos han sido algo más exitosos en barrar o frenar los ímpetus totalitarios, en base a un sistema de leyes, policial y judicial, que busca garantizar la libertad o los derechos de todos por igual. Como bien se sabe eso se aplica en teoría en casi todos los países del mundo, pero, obviamente, se practica mucho más en unos que en otros, sin ser perfecto en ninguno. Y, en la actualidad, la tendencia autoritaria aumenta hasta en países que eran considerados irreductiblemente democráticos, como los EE.UU.

En el texto que sigue se explora si algunas tendencias actuales de la sociedad humana son, en buena cuenta, formas nuevas de reducir la individualidad y quizá, poco a poco, ir llevando la humanidad a una situación progresivamente más próxima a la de los insectos sociales.

Las tendencias humanas a la homogenización o pérdida de la individualidad. De hecho, la humanidad es bastante homogénea y por eso, los individuos “diferentes” u “originales” (por sus peinados, tatuajes, ropas, modo de pensar, actitudes, sexualidad) llaman la atención. La mayoría, en cambio, tiene tendencia a vestir, pensar y comportarse igual o muy parecido, aunque hay diferencias por castas y todavía existen por región, religión o nacionalidad. Aún así no hay duda de que el blue jean, el teléfono celular y algunas marcas de pollo frito y hamburguesa, por ejemplo, son tan universales como creer que existen seres superiores invisibles que rigen la vida.

La reducción de la individualidad se debe, en gran medida, a la necesidad de convivir en grupos humanos cada vez mayores, cada vez más densos. Las sociedades deben tener orden para prosperar y en las humanas eso se tradujo en religiones dogmáticas cuya violación implica perder la “vida eterna”; leyes cada vez más detalladas, más restrictivas y de aplicación cada vez más minuciosa que ahora son, en gran parte, universales; en modas que todos adoptan y descartan apenas para adoptar la siguiente. La homogenización se fomenta en la educación, enseñando lo mismo a todos y obligando a los jóvenes a vestir uniforme; en las fuerzas armadas que son ejemplos de uniformización, pero al mismo tiempo de reforzamiento de las castas (del cabo al mariscal) y, en esos ejércitos, pensar es sólo función de los oficiales más graduados, es decir las castas más altas... todo en nombre

de la eficiencia. Hay que aceptar que, aunque el propósito de todo lo anterior sea asegurar la estabilidad social y, en el caso de las leyes y en especial de la justicia, garantizar cierta igualdad entre los individuos, es al mismo tiempo una creciente y omnipresente restricción de la libertad individual.

Las legislaciones deciden ahora sobre absolutamente todo lo que atañe al individuo. Deciden no sólo lo que se paga de impuestos sino hasta sobre nacimiento (i. e. aborto) y muerte (i. e. eutanasia), cuándo y cómo educarse (educación obligatoria, currículos decididos por el Estado) o servir a las fuerzas armadas (servicio militar), consumir alcohol o usar tabaco, pose de armas (inclusive armas blancas), conducir un vehículo y hasta entra en detalles como castigos a los hijos y a mascotas, forma de vestir, vacunas a tomar, el color del edificio o vivienda, velocidad de los vehículos, reglas deportivas, etc. La libertad, tan característica de la individualidad de la especie humana siempre ha sido restringida a las castas inferiores por las superiores, pero está llegando a extremos sin precedentes. Claro que muchas de esas leyes son fruto de decisiones supuesta o realmente democráticas que en principio responden a la necesidad de proteger a los individuos de las secuelas de una población cada vez más densa. Sin embargo, es innegable que a medida que la densidad de población y la globalización aumentan, las sociedades humanas tienen menos libertad y se parecen más a la de los insectos sociales.

Los humanos tienen otros dos factores homogenizantes que no son despreciables: la publicidad y la propaganda. La primera, asociada al comercio o a la empresa privada, promueve el consumo de producto o servicios. La “cocalización” de la humanidad (uso y abuso de la Coca Cola) es un hecho indiscutible que atraviesa fronteras, religiones y políticas. Esta bebida se vende en más de 200 países, es decir en casi todos¹. La segunda, la propaganda, busca influenciar las actitudes y creencias de los individuos para generar un cambio de conducta o de idea, en general usada por los gobiernos y por los partidos políticos, pero también por las religiones. La propaganda masiva puede ser aún más influyente que la educación y que la publicidad en la homogenización de sociedades, como la impuesta por los nazis gracias a Hitler y Goebbels en el pueblo por entonces más culto de Europa y luego por los comunistas rusos y chinos y que es de uso común en las dictaduras de todo el mundo. Y a eso hay que sumar la proliferación de medios de comunicación masiva de toda calaña que confunden, manipulan y afectan la racionalidad individual y social (Baumann 2007, Innerarity 2009, Ramonet 2019).

Las “feromonas” humanas. Se cree que, aunque limitadas y débiles, los humanos aún emiten feromonas, especialmente en torno a la reproducción. Pero en esta discusión no se tratará de feromonas de origen bioquímico como las de los insectos sino de uno de sus equivalentes sociales, tendiente a reducir la individualidad: el teléfono móvil o celular acoplado a la internet (Romaniello & Chircu 2018).

1 <https://www.coca-cola.com/es/es/about-us/faq/en-cuantos-paises-esta-cocacola-presente>

De todos los factores homogenizantes de la sociedad, aparte de los ya citados, el más marcante y de creciente influencia es, sin duda, la internet que viabiliza las redes sociales. A febrero de 2025 al 70.5% de la población humana estaba suscrito a un servicio de teléfono móvil y 67,9% usaba internet, proporciones que aumenta al 2,5% anual. La misma fuente reveló que el tiempo de uso aplicado a navegar en la web alcanzó 6 horas, 38 minutos diarias².

2 <https://marketing4ecommerce.mx/usuarios-de-internet-mundo/>



El uso de celulares facilita la homogenización de la humanidad a través de la publicidad, la propaganda y la reducción del análisis crítico o debate.

Los mensajes de esta herramienta (internet más las redes sociales, comerciales y políticas que la usan) son esencialmente subliminales y no precisan fundamentarse en la verdad como en teoría es el caso de la educación y vehiculizan, con extraordinaria eficiencia la publicidad y la propaganda y, peor aún, hacen uso incontrolado de la mentira, la exageración o de las medio verdades. Como la mayor parte de la población humana no lee nada más que frases breves y cada día escucha menos radio, recibe toda o la mayor parte de la

información que guía sus pensamientos a través de esos instrumentos (Carr 2011, Han 2017, Harari 2018). Más grave, si posible, la inteligencia artificial, identificando algoritmos, permite detectar lo que desea o interesa al individuo, saturándolo con más y más de lo que ya es su visión sobre el tema, a la que ratifica, estrecha y radicaliza. El teléfono celular y su complemento, la internet, han suplantado en un solo instrumento muy compacto a todas las herramientas previas de la sociedad como la radio, la televisión y el cinema, la calculadora, la cámara fotográfica y la filmadora, el álbum de fotografías, el reloj, el despertador, la libreta de apuntes, el banco, los periódicos, revistas y libros y hasta la linterna, el espejo y la lupa. Han simplificado la vida, sin duda, pero al mismo tiempo, con ayuda de la inteligencia artificial han sustituido la necesidad de procurar, buscar y han estandarizado la calidad. El par celular-internet acoplado a la inteligencia artificial han eliminado la necesidad de memorizar y han reducido grandemente la de pensar. En efecto, aún si esa oferta, eventualmente se acerque a la realidad, llega tan simplificada y sintetizada que, en lugar de informar, deseduca y confunde (Harari 2018). Pero con el advenimiento masivo de los influenciadores, mujeres y hombres vociferantes que, en general, carecen de calificación, el nivel cae aún más, si posible (Putman 2006, Han 2022). Existe, sin duda, un proceso de estupidización (torpeza o falta de entendimiento para comprender las cosas) masiva de la población humana.

Por eso, cabe opinar que la internet y su contenido manipulado se ha convertido en el equivalente a una feromona que, como la de los insectos, determina el comportamiento del individuo y los hace a todos o a gran parte de ellos muy similares, anulando la individualidad, la abstracción y el raciocinio, así como el diálogo, es decir lo que determina la superioridad humana sobre los insectos sociales e imponiendo un sentimentalismo prefabricado, basado en la información procesada por las máquinas. Todos o grandes porcentajes de los individuos humanos acomodan sus ideas y hacen lo que les dicta esa “feromona” y sus algoritmos sin analizar más. Por eso, aunque parezca contradictorio, esas herramientas son asimismo un factor importante de división de la sociedad, en función de su capacidad de nutrir posiciones antagónicas, sin dar oportunidad a la discusión, debate o consenso. Las últimas elecciones presidenciales en EE. UU. o en Brasil y Perú ilustran bien este aspecto.

En conclusión, existirían evidencias o, por lo menos, signos de que la población humana, en términos de pensamiento, tiende a la homogenización, es decir a que hay una proporción cada vez mayor de individuos de la población que no piensan por sí mismos y que actúan todos de modo similar, es decir demostrando una reducción de la individualidad.

La reducción de la inteligencia. La inteligencia es, en esencia, lo que ha hecho que la especie humana domine y es la base de su individualidad. Los científicos apuntan que la evolución del ser humano se ha frenado notablemente en los últimos treinta mil años. El aspecto físico y el tamaño del cerebro humano no han variado en ese lapso. Sus características, que en los milenios precedentes estaban en constante evolución, han permanecido prácticamente iguales. Con el dominio casi absoluto de la vida en la tierra, pareciera que los retos evolutivos interespecíficos del Homo sapiens han disminuido tanto que su evolución se habría desacelerado.

La homogenización de la sociedad humana, como visto, se refleja en su comportamiento. Su mayor impacto es el aumento de la proporción de los que, si tienen lo suficiente o se benefician de lo que la sociedad cree que corresponde a su casta, simplemente dejan de participar, es decir que se abstienen de opinar y protestar públicamente y hasta de votar, quizá influenciados por el desánimo y la desconfianza de que su intervención sirva de algo, pero, eso ocurre principalmente porque están dominados por la indiferencia. Eso ya lo describía bien Ortega y Gasset (1930). Son individuos socialmente anestesiados, irrelevantes. Prefieren que otros resuelvan los problemas nacionales o hasta locales, sean estos sociales, ambientales o económicos. Es, en cierta forma, la llamada “mayoría silenciosa” de la política que corresponde bien a los que Cipolla (2020) denominó “incautos” en su análisis de la estupidez humana.

Según el mismo autor, que no es el primero ni el único en reexaminar en tiempos recientes el tema de la estupidez (Ortega y Gasset 1930, Tabori 1999), en la sociedad humana hay cuatro tipos de individuos: los “inteligentes”, los “estúpidos”, los “malvados” y los ya citados “incautos”. En esta línea de análisis los términos usados se refieren al

comportamiento social y no al cociente intelectual. Los inteligentes, según esa teoría, actuarían beneficiándose y beneficiando a la sociedad, los incautos o inocentes benefician a todos, pero pueden perjudicarse a sí mismos y en general son manipulados por los otros tres grupos, especialmente por los estúpidos y los malvados. Los malvados perjudican a los demás y se benefician a sí mismos, pero, como se ha anticipado, los estúpidos perjudican a todos. Concluye que hasta los malvados son menos dañinos a la sociedad que los estúpidos. Hay estúpidos, malvados e inteligentes en todas las clases sociales y, por cierto, hay estúpidos y hasta incautos con inteligencia elevada. De otra parte, siempre con ese autor, quien nace estúpido lo será siempre. Su comportamiento sería innato, no adquirido. De otra parte, cada individuo puede tener ocasionalmente, bajo presión, actitudes que correspondan a las otras tres categorías.

La estupidez, que según Cipolla (2020) se rige por el egoísmo, la ignorancia, la cobardía y la codicia, afecta a una parte sustantiva de la población humana. Las expresiones “Hay dos cosas infinitas: el universo y la estupidez humana. Y del universo no estoy seguro” (Einstein), o “Contra la estupidez, hasta los dioses luchan en vano” (Goethe) y “la estupidez insiste siempre” (Camus) son más que suficientes para describir un hecho bien conocido y que, de otra parte, ha sido muy discutido por filósofos de todos los tiempos, desde Aristófanes y Aristóteles hasta Ortega y Gasset y Umberto Eco, pasando por Erasmo de Rotterdam. El problema es que los estúpidos suelen cooptar a la mayoría, es decir a los “incautos” o “inocentes” a través de los mecanismos antes descritos. Todos los gobernantes, muchos de ellos típicamente estúpidos, como los presidentes Trump y Bolsonaro, consideran que todo aquel que no protesta de forma visible o vota contra sus decisiones, las apoya. De otra parte, aunque ser estúpido o ser incauto no depende únicamente de la educación o del nivel social, no hay duda de que la pobreza y la mala calidad de la educación, es decir de información y de buenas herramientas de reflexión, tienen enorme influencia.

Los incautos o inocentes que, con bajo o alto cociente intelectual, no tienen opinión o no se atreven a emitirla y no participan activamente en nada, constituyen en cambio una gran biomasa en la sociedad pues son más prolíficos y tienen un potencial de supervivencia mayor, es decir requieren menos para vivir. La explosión demográfica va unida a la pobreza y para los pobres cultivar la inteligencia es un privilegio raramente obtenido. Por tanto, la mayoría (los incautos o irrelevantes) permanece ignorante de generación en generación. Por su actitud apática y su falta de discernimiento, casi siempre inclinan la balanza en favor de los estúpidos o de los malévolos. Los inteligentes, en cambio, se reproducen a un ritmo lento y, los genios casi llegan estadísticamente a la esterilidad. En los países ricos se estudia más y se tienen menos hijos. De hecho, la reducción de la natalidad es, en varios países, motivo de preocupación.

Así es como el grupo humano que más disminuye, pese a la multiplicación de universidades, es el de los inteligentes. Además, desde hace miles de años las sociedades humanas desarrollan comportamientos y políticas que provocan el relegamiento y hasta el aniquilamiento de los más inteligentes. En efecto, desde la antigüedad todos los tiranos del

mundo, es decir estúpidos y/o malvados, han eliminado a los inteligentes más destacados, llegando a extremos descomunales. Tales fueron los casos recientes de la Alemania de Hitler, de la Cuba castrista, del comunismo soviético o chino y el desvarío de los Khmer Rouge o de Sendero Luminoso. Y tampoco se debe olvidar que en la democracia el voto de un disminuido mental desconocido pesa tanto como el de un genio famoso (Harari 2018).

Debe hacerse notar, sin embargo, que el crecimiento de la población aumenta la probabilidad de que existan individuos muy inteligentes e inclusive, geniales, pese a que disminuya su proporción en la población en general. Pero eso tiene un límite. Es evidente que el predominio numérico de los incautos o inocentes liderados por los estúpidos y malvados, reduce la capacidad de pensar, crear y de defenderse.

En síntesis, pareciera que el comportamiento humano tiende a reducir la proporción de individuos inteligentes (sensu Cipolla) en la sociedad. Sin embargo, en apariencia, esa conclusión contrasta con la evidencia del progreso geométrico de la inventiva humana en los últimos cien años que, además, no se detiene. Ocurre que, con los medios de los que ya dispone la humanidad y considerando el aumento poblacional, los inteligentes dedicados a la ciencia y a la tecnología pueden descubrir y hacer cada vez más, aunque su proporción en la sociedad disminuya. Y, de otra parte, hay científicos notables que forman parte del grupo de los estúpidos.

La inteligencia artificial y las castas. La inteligencia artificial está en uso desde que se inventó la internet y su influencia es creciente pues su desarrollo es geométrico. Se cree, con evidencias, de que va a provocar cambios radicales en el futuro cercano (Krishna 2024, Innerarity 2025). Es probable, de una parte, que facilite la vida de los humanos en los más diversos aspectos, como en la economía, salud (diagnósticos y tratamientos, y detección temprana de problemas de salud), agricultura (monitoreo de factores de la producción en tiempo real), educación (especialmente en zonas remotas), seguridad, etc. De otra parte, también se asegura que va a limitar el empleo para las mayorías, aumentar las desigualdades sociales, limitar aún más la privacidad y, principalmente, preocupa que pueda disminuir el pensamiento crítico, que es una habilidad esencial característica del ser humano, que le permite resolver problemas complejos.

En verdad, todo lo que la inteligencia artificial promete tiende a acercar la sociedad humana a las de los insectos: (i) dispensa pensar a la inmensa mayoría de los individuos para realizar la mayoría de sus actos, lo que quedará reservado para una élite que, sin duda, estará atada al poder; (ii) engrosa el porciento de los que se han llamado “incautos”, pero, al mismo tiempo, les reduce la oferta de empleo creando quizá, una amplia faja de ociosos o irrelevantes mantenidos por el sistema, por ejemplo reduciendo más la carga laboral; (iii) la educación para las masas se uniformizará y puede responder más estrictamente a lo que desean los gobernantes. Nada de eso es bueno para asegurar la individualidad que depende superlativamente de la capacidad de ejercer el pensamiento crítico antes de tomar una decisión. La inteligencia artificial, obviamente, permite la automatización

de tareas simples permitiendo tomar decisiones más precisas, rápidas y eficientes y, en especial, facilita enormemente la aplicación y el control del cumplimiento de órdenes. Todo eso lleva a una sociedad en la que la individualidad disminuye en favor de la eficiencia colectiva (Harari 2018, Han 2022). Ahora se piensa que la computación cuántica puede ser realidad en la próxima década. Esa herramienta puede multiplicar la potencia actual de la inteligencia artificial por billones de veces prometiendo una vida humana fuera de toda predicción, totalmente dominada y controlada por esa o esas máquinas y cuyo sentido de existencia está por descubrir, si es que aún es posible (Nielsen y Chuang 2000).

Puede ser verdad que la inteligencia artificial no sustituya completamente a la humana y que, para quienes sabe usarla y conservan pensamiento crítico, ella sea un instrumento valioso que simplificará y acelerará su trabajo, analizando complejos de múltiples factores a partir de grandes volúmenes de datos en especial brindándole la información previa ya procesada y organizada. Pero eso va a ser limitado a pocos, posiblemente apenas a filósofos, científicos y artistas, es decir a los creadores o imaginadores. Los profesionales que forman la clase media, es decir un sector importante de la sociedad “inteligente” van a perder parte sustantiva de su utilidad actual. Los médicos, es decir individuos altamente capacitados, si están dotados de equipamiento basado en inteligencia artificial no necesitan razonar mucho. La máquina les va a dar el diagnóstico, indicar los remedios y va a guiar su mano en la cirugía. No van a necesitar dudar, buscar más información, discutir con colegas. Sólo deberán obedecer. El caso para agrónomos es igual. Si su equipamiento dice qué variedad escoger para el suelo disponible, cómo y cuándo sembrar, abonar, aplicar pesticidas y cosechar y, si también informa de los precios del mercado y encima tiene el control remoto de la automatizada maquinaria en el campo... ¿para qué sirve ese ingeniero? Hasta los profesionales graduados dejarán de necesitar pensar.

En resumen, la entrada plena de la inteligencia artificial en la sociedad humana probablemente provocará: (i) mayor disminución de la individualidad en términos de pensamiento libre, original o divergente; (ii) mayor distancia entre las castas y, quizá reducción de su número pues la clase media o profesional va a dejar de ser diferente de la operaria en la medida en que no precise usar su inteligencia propia; (iii) aumento de la proporción de individuos en la sociedad que no precisen trabajar y; (iv) concentración del privilegio de usar la inteligencia en aún menos individuos que en la actualidad, lo que podría reducir la capacidad humana de resolver sus problemas. Hay una teoría que señala que más del 95% de las personas viven relativamente bien y sin interés por ampliar su potencial (los “incautos”) y que solo un 5% de la población mundial rompe esos límites y crea un círculo virtuoso que les proporciona más recursos, posibilidades, libertad, y conocimientos (los “inteligentes”) pero que, en realidad, apenas el 2% de la humanidad responde por más de la mitad de los progresos científicos, artísticos y económicos. Una encuesta reciente indicó que el 75% de los humanos consideran que no usan ni tiene la oportunidad de aprovechar su potencial creativo.

Otro estudio reveló una sorprendente caída de la creatividad en los adolescentes de todos los países estudiados. Asimismo, se registró que en 2024 solamente había 254 millones de estudiantes universitarios en el mundo ³. Es decir que, pese a que el tema del uso de la inteligencia en la especie humana ya es muy limitado, la inteligencia artificial, pese a sus promesas, puede empeorar la situación y hacer que la sociedad humana se parezca aun más a las de los insectos. Se teme que esa herramienta aumente la pereza del pensamiento y de la memoria, ya que basta apretar unas pocas teclas o pronunciar algunas palabras para tener la respuesta. Aun así, la diferencia fundamental entre sociedades insectiles y la de los humanos seguirá siendo la inteligencia, aunque sea restringida a una pequeña casta de pensantes dominando sobre una inmensa mayoría inocente.

El problema es saber por cuánto tiempo y para qué y por qué la casta dominante de la humanidad mantendrá esa inmensa mayoría de incautos irrelevantes que, no contribuye y que puede ser eficiente y económicamente reemplazada por máquinas. Entre los insectos no existe ni es posible la figura de una gran masa de individuos que consumen pero que no producen. Además, el otro problema es que una sociedad dirigida por la inteligencia artificial se mantendrá mientras los humanos superiores consigan controlarla. Y eso es una incógnita.

¿Síntomas de deterioro social? A lo largo de toda la historia se han denunciado síntomas de degradación de la sociedad humana, en general debido a factores dependientes de la densidad. Entre estos: (i) la pérdida del control del Estado sobre el crimen; (ii) el consumo muy generalizado y abusivo de drogas; (iii) la homosexualidad y otros desvíos de la normalidad reproductiva y; (iv) el incremento del parasitismo o comensalismo. El tema en este caso es saber si esos síntomas humanos son análogos a lo que ocurre en insectos sociales.

Uno de los síntomas más importantes del deterioro de las sociedades humanas es el aumento del desorden, dando lugar a la cleptocracia o peor, a la oclocracia. Es decir, cuando las normas dejan de ser respetadas hasta por los individuos comunes y son abiertamente violadas en especial por los malvados, es decir delincuencia abierta, organizada o no que hasta puede asumir el control. Es interesante anotar que el crimen y la inseguridad o su percepción aumentan pese a leyes cada día más limitantes de la libertad. Pero, asimismo, ese es un problema cíclico y muy relacionado a la economía. La similitud de ese tema con las sociedades de insectos es limitada. En lo que si hay similitud con los insectos es cuando se produce desorden político, es decir conmociones o revueltas populares contra el orden establecido y que pueden terminar con el gobierno. Esa situación extrema, en insectos, en general determina el fin de la sociedad.

La delincuencia, en humanos, está relacionada al consumo de drogas, a la satisfacción de las necesidades por vías ilegales, a la desigualdad estructural que provoca diferencias

3 <https://www.unesco.org/es/higher-education>

en cuanto a oportunidades de una vida digna, entre otros. En insectos, como se ha visto, también existen uso de drogas o modalidades equivalentes que suelen anteceder los momentos finales de esas sociedades y que no forman parte del ordenamiento previsto. Esos vicios provocan abandono de los trabajos correspondientes y pueden ser causa, por ejemplo, de proliferación de enfermedades y muerte de ninfas o larvas, abandono de los cultivos y eventualmente muerte de la reina. De hecho, los viciados humanos no suelen trabajar o no lo hacen bien.

En la sociedad humana también se reproduce, pero en una dimensión mucho mayor, el mismo tipo de parasitismo que ocurre en insectos. No es del caso aquí mencionar toda clase de endoparásitos y ectoparásitos que, por cierto, existen tanto en humanos como en insectos. En esa categoría figuran en ambos casos largas listas de microbios, vermes, insectos, ácaros y tantos más. Pero, vale mencionar que tanto insectos sociales como humanos pueden convivir incluso voluntariamente con otros animales a los que cuidan en retribución a ciertos olores agradables, servicios reales o imaginarios o a otros atractivos. Esos animales no producen, pero son alimentados y cuidados. En verdad, aunque se les pueda considerar como comensales pues no hacen daño directo a sus hospedadores, en realidad son parásitos pues consumen sin producir. Esta figura, en humanos, es la que se da con perros y gatos. Esa relación comenzó milenios atrás como una simbiosis mutualista bien definida. Los perros ayudaban en la caza y en la defensa. Los gatos controlaban a las ratas.

Sin embargo, en el último siglo esa relación pasó a ser parasítica. Se estima que existan unos 900 millones de perros, de los que, en la actualidad, unos 410 millones son mascotas que comen, pero no ayudan a cazar ni a cuidar de la casa y, solo excepcionalmente prestan algún servicio efectivo. Ahora ellos son protegidos por los humanos. Y los gatos, de los que unos 370 millones son domésticos, eventualmente aún matan ratas, pero prefieren masacrar aves silvestres ⁴. La huella ambiental de esos animales es enorme, tanto en la producción de alimentos (Pedrinelli et al 2022) como por los gases de efecto invernadero y los contaminantes que emiten (Pim et al 2019). Los servicios emocionales (compañía, mitigación de ansiedad, depresión, soledad, etc.) que perros y gatos prestan actualmente a la humanidad no guardan proporción con el impacto ambiental y económico de mantenerlos. Por tanto, biológicamente son parásitos.

Pero, a diferencia de los insectos, los humanos también tienen parásitos de su propia especie. Esto se refiere a los millones de individuos que ya no siendo crías (terminaron sus estudios) tampoco producen nada. Incluye a los desempleados, jubilados (muchos ya a los 50 años de edad), disminuidos físicos y mentales y, sin exagerar mucho, se puede incluir a los militares en países donde no existe riesgo de guerra, la mayoría de los políticos y religiosos y hasta puede considerarse, en gran medida, a los abogados que necesitan inventar conflictos para resolverlos. Todos estos personajes, como los drogadictos y

4 <https://nubika.es/noticias/cuantos-perros-hay-mundo/>

delincuentes, son cargas pesadas para la sociedad que, como ya mencionado al discutir sobre las consecuencias de la inteligencia artificial, pueden llegar a ser muchos más si ésta desplaza más trabajadores de las clases popular y media. Como bien se sabe, hasta los jubilados son actualmente un peso considerable para los pocos que trabajan y que deben mantenerlos. En teoría, el peso “muerto” (en el sentido de consumir sin producir) que implican esos individuos, que representan un 42% de la población mundial mayor de 15 años, no ayuda a que la especie humana tenga éxito como especie y, por cierto, tiene un enorme impacto ambiental. A 2024 se estimaba que en menos de 3,4 mil millones de individuos humanos trabajaban⁵. En sociedades de insectos esos problemas simplemente no existen, salvo en los pocos casos citados que proporcionalmente son ínfimos. En ellas todos los individuos trabajan, hasta las ninfas de estadios avanzados de las termitas. La única excepción son las larvas y pupas de las hormigas. Los individuos maduros que no trabajan están muertos.

7. ¿SE REPRODUCIRÁ EN EL FUTURO, EN LA SOCIEDAD HUMANA, EL CICLO VITAL DE SOCIEDADES DE TERMITAS Y HORMIGAS?

En este capítulo se discute hasta qué punto las semejanzas entre las sociedades humana e insectiles actuales y, en especial las previsibles, pueden determinar un ciclo de vida semejante.

Es una regla de la naturaleza que una población animal o vegetal sólo puede crecer hasta el límite de la capacidad del ambiente para soportarla. El clásico experimento de poner insectos en un recipiente lleno de semillas, pero herméticamente cerrado, es una demostración elemental pero contundente de esa realidad. Al principio los gorgojos proliferan, mas, con el fin de la comida disponible el recipiente queda lleno de cadáveres y de cáscaras vacías de semillas. Las termitas y hormigas son animales pequeños que practican agricultura o consumen madera. Por tanto, pese a sus números enormes y a su gran participación en la biomasa del planeta, tienen una amplia disponibilidad de alimentos. Aun así, en el caso de las primeras, la falta de madera puede ocasionar el fin de la sociedad del mismo modo que la desertificación que elimina la vegetación elimina asimismo las hormigas cortadoras de hojas. Pero siempre sobreviven en otro lugar.

Se discute mucho el agotamiento de los recursos naturales de la Tierra para mantener a los ya más de 8,2 mil millones de individuos de la sociedad humana que serán 10,2 mil millones al final del siglo y del impacto ya excesivo de la huella ecológica⁶. Pese a que eso es una realidad bien demostrada, la especie ha tenido mucho éxito en levantar la barrera de la resistencia del medio y todo indica que podrá continuar haciéndolo, en especial

⁵ <https://www.ilo.org/es/datos-y-estadisticas>

⁶ <https://news.un.org/es/story/2024/07/1531126>

produciendo más y más alimentos. No obstante, los humanos son, ahora, una sociedad global que ocupa todo el planeta y domina gran parte de la vida en la Tierra. Si se repitiera el ciclo vital de insectos sociales y del pasado de la propia humanidad podría parecer que su única opción sea invadir y colonizar otros mundos. Pero, en realidad, hay otras opciones.

En efecto, la naturaleza es sabia y hace todo lo necesario para no permitir que una especie llegue a ese límite final buscando el equilibrio de la población con el recurso. Las plagas agrícolas son apenas un mecanismo natural de control de la sobrepoblación de plantas cultivadas tanto como las enfermedades lo son para los animales. Pero el humano, en general, las combate efectivamente. Por eso, la naturaleza tiene otros mecanismos de control de la población que también son dependientes de la densidad. Uno de estos es la reducción de la fertilidad. En humanos, suele atribuirse la reducción de la fertilidad al nivel de desarrollo, a la cultura y a la riqueza, mientras que la fertilidad elevada se atribuye a la pobreza y a la consecuente falta de educación y de opciones. Esos factores sin duda inciden, pero curiosamente, el mismo mecanismo es común en la naturaleza. En efecto, poblaciones de plantas o animales en buenas condiciones reducen su fertilidad a un nivel compatible con el medio. Pero las mismas aumentan notoriamente su fertilidad si son sometidas a estrés ambiental. Eso es una estrategia de supervivencia... más prole para asegurar que algunos individuos sobrevivan, menos si hay poco riesgo. Así, la fecundidad se ha reducido de 5 a menos de 2,3 nacimientos por mujer en todo el mundo en apenas 70 años, pero en especial en los países más desarrollados y en las clases sociales más ricas. En los países más miserables de África aun nacen más de 5 y hasta 6 hijos por mujer, pero hay ya 117 países en que nacen menos de 2 hijos por mujer⁷. Sin embargo, al nivel mundial a la baja fecundidad se suma la infertilidad. En efecto, la Organización Mundial de la Salud estima que ese problema afecta al 17,5% de la población adulta, o una de cada seis personas⁸.

Como se ha dicho, el nivel de desarrollo tiene influencia en la tasa de reproducción, pero no explica, por ejemplo, el extraordinario aumento de las diversas modalidades de homosexualidad a nivel mundial. Una encuesta de 2023 encontró que el 9% de los adultos en 30 países se identifican como LGBT+. En los Países Bajos, donde las mujeres tienen 1,78 hijos en promedio, el 17% de la población se identifica como LGBT+. En España esos valores son, respectivamente 1,27% y 9%. Y, en el Brasil, donde la natalidad es de 1,8 el porcentaje de los que se declaran LGBT+ alcanza al 15% y, obviamente, está fuertemente concentrado en los estados más ricos⁹. Y esas opciones sexuales impactan especialmente a las nuevas generaciones, especialmente a los nacidos entre 1997 y 2010, es decir que tienden a aumentar más. En naciones pobres, especialmente en África, es difícil saber la

7 <https://es.statista.com/>

8 <https://www.paho.org/es/noticias/4-4-2023-oms-alerta-que-cada-seis-personas-padece-infer-tilidad>

9 <https://www.ipsos.com/en/pride-month-2023-9-of-adults-identify-as-lgbt>

realidad ya que la mayoría de ellos criminalizan la homosexualidad, inclusive algunos con pena de muerte. Sin embargo, hay evidencias de que su incidencia es mucho menor. En los insectos, como en otros animales, se conocen numerosos casos de homosexualidad, pero no se conoce en termitas y hormigas sociales.

Las guerras continuarán siendo, seguramente, uno de los mecanismos principales y más probables de control de la población. Una guerra nuclear limitada puede devolver a la humanidad un balance más adecuado con los recursos naturales de los que depende. No se prevén amenazas especiales para las termitas y las hormigas provocadas por ellas mismas, pero pueden ser afectadas por algunas de las debacles provocadas por los humanos, en especial una guerra nuclear terminal... los demás riesgos probablemente les ayudaría a prosperar... inclusive el cambio climático. Si los seres humanos se extinguen, la naturaleza, textualmente, seguiría su curso con total naturalidad, evolucionando. La radioactividad apenas sería un factor de selección natural acelerada, como ya lo fue antes en la historia del planeta y como todo indica que está ocurriendo alrededor de Chernobyl, donde la flora y la fauna han sobrevivido sorprendentemente bien (Helenstine 2024) .¹⁰

Es muy posible que el cambio climático sea el riesgo más serio y de consecuencias para todas las especies, no solamente la humana. Este proceso ya está en curso, es imparable y todo indica que será muy drástico. Además, ningún factor es independiente y cada uno favorece o desfavorece a los demás. Aun así, es probable que la humanidad sobreviva o que lo que quede de ella conseguirá adaptarse, junto con los insectos y muchos otros animales y plantas. Pero, si eso ocurre las reglas que los humanos han adoptado en su sociedad actual tendrán que cambiar mucho. Y, probablemente, se parecerán mucho más, si fuera posible, a la de los insectos sociales. Por ejemplo, es muy probable que la reproducción, una de las grandes diferencias entre insectos y humanos sociales se convierta en una función especializada, preservando en parte la diversidad genética como en el ganado y no ya totalmente individual y al azar como es hoy. Y, de otra parte, en la nueva sociedad la inmensa mayoría pertenecerá a una o más clases trabajadoras amorfas, que habrán perdido casi totalmente la facultad de pensar, como en los insectos siendo gobernados por una minúscula casta de dirigentes monopolizadores de la inteligencia y del poder. Hay otras posibilidades pues, cabe preguntar para qué serían necesarias las castas de trabajadores si tanto la labor de producir como la de defender a la sociedad puede estar esencialmente a cargo de máquinas. En esa alternativa la casta superior sería la única y sería, por tanto, probablemente más equitativa en su propio universo.

8. CONCLUSIONES

Las semejanzas entre las sociedades de insectos sociales y la de los humanos son enormes e

¹⁰ <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-chernobyl-has-become-unexpected-haven-wildlife>

indiscutibles. Pese a la enorme distancia genética que separa esas especies, han demostrado una evolución sorprendentemente convergente, adoptado estrategias de sobrevivencia muy parecidas o perfectamente equivalentes, que incluyen agricultura, división del trabajo, cuidado de las crías, ciudades y fortificaciones, defensa incluido ejércitos y armas, memoria colectiva, lenguaje y, como recientemente confirmado, medicina¹¹ y hasta prácticas quirúrgicas (Frank et al 2024). También son similares sus ciclos de vida sociales.

Pero hay dos diferencias que, pese a las dudas y relativizaciones expuestas, son incuestionables: (i) la individualidad, determinada por la capacidad de pensar, es decir la consciencia y la conciencia, es decir la inteligencia individual que lleva a la competencia intraespecífica que a su vez acelera la evolución y, (ii) la reproducción especializada o “delegada” de los insectos sociales que asegura los parámetros genéticos de la especie, con poca o ninguna variación mientras que la reproducción por parejas, asegura en gran medida la individualidad humana a través de las combinaciones o variaciones en la secuencia del ADN.

Como visto, existen evidencias razonables de que los insectos sociales también tienen cierta forma de consciencia y hasta de conciencia individual, además de que tanto ellos como los humanos pueden adoptar y adoptan o responden a comportamientos de enjambre. Autores como Maldonado (2012, 2016, 2019) consideran que otras especies, además de la humana, pueden procesar información de modo no algorítmico y que la inteligencia de enjambre está bastante bien demostrada en muchas especies, inclusive la humana. Esta hipótesis acortaría aún más las diferencias mencionadas entre insectos sociales y humanos. Tanto más si estudios por venir confirman la posibilidad de que los insectos, como los reptiles, aves y mamíferos, sean capaces de tener cierto nivel de consciencia individual, inclusive algunas formas de conciencia. Resta pues, como diferencia clara y fundamental, la estrategia reproductiva que, como parece, podría no ser suficiente para evitar que la distancia entre insectos sociales y humanos se acorte aún más. Así, entre otros, lo sugirieron directa o indirectamente Negri & Hardt (2000), Miller & Page (2007) y Wilson (2012)

En términos de habilidad para sobrevivir ambos tipos de sociedad han tenido y tienen mucho éxito. Sin embargo, las sociedades de insectos han sobrevivido y evolucionado por un periodo de tiempo de dos a tres miles de veces mayor que la de los humanos, demostrando una extraordinaria resiliencia. En cambio, las sociedades humanas son muy recientes, probablemente menos de 100 mil años. Sin embargo, en ese plazo tan breve, especialmente en los últimos 40 mil años, han desarrollado una sociedad que es tan o más compleja que las de los insectos más evolucionados. Eso se debe a la inteligencia y, en parte quizá a los sentimientos, que determinan la individualidad que, acoplada a la competencia intraespecífica, acelera mucho la selección y ha estimulado la inventiva, brindando a esta

¹¹ <https://www.uni-wuerzburg.de/en/news-and-events/news/detail/news/die-medizin-der-ameisen/>

especie herramientas poderosas que ningún otro animal posee.

Como fue mencionado, hay otras similitudes. En el ciclo de vida de las sociedades de insectos como en las de las civilizaciones humanas del pasado se repiten inexorablemente las etapas de fundación, crecimiento, apogeo, decadencia y fin. Este siempre es precedido por conmociones sociales que incluyen el aumento de individuos que no producen, es decir ociosos o parásitos, la diseminación de drogas, la reducción de la fertilidad y finalmente por guerras intestinas o de origen externo. La humanidad, con sus más de 8,2 mil millones de habitantes y su elevada presión sobre los recursos, sin mencionar el cambio climático, muestra muchos de esos problemas que otrora predisponían a cambios drásticos o al fin, como la bíblicas Sodoma y Gomorra. No al fin de la especie, pero sí de esa sociedad y su reemplazo por otra o por un nuevo renacer de la misma. No se sabe en qué punto de su rápida evolución se encuentra la sociedad humana y, más aún, por ser global, su destino es aún más difícil de predecir. No obstante, es un hecho que los procesos mencionados para insectos tienen un paralelo preciso con lo que está aconteciendo con la humanidad.

Lo que este ensayo se ha propuesto es visualizar el grado al que la evolución convergente entre la sociedad humana y la de los insectos sociales ha llegado y, especialmente, hasta donde podría llegar. Lo que es evidente es que las sociedades de insectos, aunque están en permanente evolución, cambian muy lentamente ya que esta depende de adaptaciones físicas y/o fisiológicas genéticamente imprimidas, muchas de las que dependen de mutaciones aleatorias. En cambio, en la sociedad humana, los individuos no precisan mudar su anatomía o fisiología. Su evolución depende esencialmente del ingenio y de las máquinas que este inventa. Pero esa enorme diferencia no es correspondida con otras características de la sociedad humana que, por el contrario, hacen que ésta se parezca cada vez más a la de los insectos.

El argumento principal para afirmar que la diferencia entre sociedades de insectos y de humanos se acorta, es la pérdida creciente de la individualidad que se expresa en su comportamiento. Hay evidencias de que las políticas y religiones, las legislaciones, la educación, la publicidad para vender productos y la propaganda para propagar ideas, están reduciendo rápidamente el razonamiento propio y por ende la libertad individual a extremos sin precedentes. Eso afecta directamente a la mayor parte de la población, les decir los denominados “incautos” o, si se prefiere, la mayoría silenciosa o los irrelevantes, la que también corresponde al amplio segmento más pobre y menos educado de la sociedad. La invención de la internet y de los teléfonos celulares se ha convertido en el principal medio de información y formación de conceptos y amplifica enormemente el proceso homogenizante e intelectualmente degradante. Reduce la necesidad de razonar y casi elimina el diálogo o debate.

Por otra parte, la inteligencia artificial, asociada a lo anterior, amenaza eliminar el pensamiento crítico, es de decir la esencia de la individualidad también de otro segmento importante de la sociedad humana, la de los profesionales o clase media que cada día

deberá pensar menos para aplicar sus profesiones pues las máquinas dirigidas por inteligencia artificial los reemplazará eficientemente. Es decir que esos profesionales universitarios que hoy son gran parte del refugio de la individualidad mental, se sumarán a los trabajadores manuales. La inteligencia humana quedará cada vez más restringida a un grupo selecto, compuesto por filósofos, científicos y técnicos, artistas y otros pocos que continuarán teniendo ideas y actitudes independientes y que, inevitablemente, estarán asociados al poder reinante y, por ende, a los soldados.

Si las sociedades humanas, más densas y menos pensantes son gobernadas por un núcleo cada vez menor que monopoliza el pensamiento creativo y además tiene el poder y la fuerza, serán aún más parecidas a las de termitas y hormigas en las que la reina y el rey, con sus ejércitos, controlan todo el nido mediante feromonas que, en mucho se parecen a los mensajes subliminales emitidos a través de los teléfonos celulares. El comportamiento de enjambre, cuyo origen se refiere al de las abejas, es ahora reconocido en varias otras especies y son varios los autores que consideran que bajo la presión de la internet, la inteligencia artificial y la automatización de la vida humana esta se acerca a la de los enjambres (Miller & Page 2007, Helbing 2013), es decir individuos conectados, vigilados y coordinados sin exhibir voluntad individual, es decir los que se conocen como la masa silenciosa, carente de pensamiento crítico (Wilson 2012, Negri & Hardt 2000, Harari 2018, Han 2018).

La especie humana, pese a no escapar de las reglas básicas de la vida en el planeta, es un fenómeno inédito en el concierto de la naturaleza terrestre. Ha pasado las vallas impuestas por casi todos los factores limitantes biológicos que regulan a las demás poblaciones de plantas y animales, combinando el uso de su raciocinio y consciencia con su gran número. El primer factor le permite vencer los problemas y el segundo siempre ha consentido que parte de la población sobreviva. Nunca mueren todos. En el futuro de la humanidad como especie hay apenas dos amenazas realmente serias y previsibles: la guerra nuclear total que implicaría un fin relativamente rápido y el cambio climático, obviamente mucho más lento, o ambos juntos. En ambos casos es de esperarse largos conflictos subordinados. Puede preverse que la humanidad sobreviviría bien a nuevas pandemias y a otras catástrofes. Pero, si sobrevive a todo, es incuestionable que la nueva sociedad no será como la actual y, en cambio, eso sí, es probable que se parezca aún más a la de los insectos.

Como visto, estas conclusiones no son inéditas. Por rutas analíticas diferentes varios autores llegan, en esencia, a lo mismo. Es decir que quizá la sociedad humana sobreviva mejor y por más tiempo cuando sea más parecida a las eficientísimas sociedades de termitas y hormigas de lo que ya es. Pero no podrá más ser llamada humana.

REFERENCIAS

- Alon, B., Sacks, I. R., & Grobman, J. Y. (2014). Similarities and differences between humans' and social insects' building processes and building behaviors. DOI: 10.1061/9780784413517.006.
- Barrett, M., & Fischer, B. (2023). Challenges in farmed insect welfare: Beyond the question of sentience. *Animal Welfare*, 32(e4). <https://www.cambridge.org/core/journals/animal-welfare/article/challenges-in-farmed-insect-welfare-beyond-the-question-of-sentience/551E073286168188E3E0EF9A62E7D7EF>.
- Beni, G., & Wang, J. (1989). Swarm intelligence in cellular robotic systems. Proceed. NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems. https://www.researchgate.net/publication/221116455_From_Swarm_Intelligence_to_Swarm_Robotics.
- Birch, J. (2024). *The edge of sentience: Risk and precaution in humans, other animals, and AI*. Oxford University Press..
- Boyd, R., & Silk, J. B. (2021). *How humans evolved* (9th ed.). W. W. Norton & Co.
- Cipolla, C. M. (2018). *Las leyes fundamentales de la estupidez humana*. Ed. Planeta. https://www.researchgate.net/publication/227385611_Las_leyes_fundamentales_de_la_estupidez_humana.
- Detrain, C., & Deneuburg, J.-L. (2006). Self-organized structures in a superorganism: Do ants “behave” like molecules? *Physics of Life Reviews*, 3(3), 162-187. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2006.07.001>.
- Diamond, J. (1999). *Guns, germs, and steel: The fates of human societies*. W. W. Norton & Co..
- Dourojeanni, M. J. (1964) (1964). Apuntes bibliográficos sobre las termitas (Isoptera Brullé) peruanos. *Revista Peruana de Entomología*, 7(1), 75-92.
- Dourojeanni, M. J. (2004) (2004, 22 de diciembre). Bomba humana. OEco. <https://oeco.org.br/colunas/16340-oeco-11058/>.
- Dourojeanni, M. J. (2006). (2006, 2 de enero). Oclocracia. OEco. <https://www.oeco.org.br/wp-content/uploads/wp-post-to-pdf-enhanced-cache/1/16392-oeco-17050.pdf>.
- Dourojeanni, M. J. (2007). (2007, 9 de enero). Ambientalismo e direitos animais I. O Eco. http://www.oeco.org.br/marc-dourojeanni/16409-oeco_20295.
- Dourojeanni, M. J. (2020). (2020, junio). Una interpretación ecológica del coronavirus. *Revista Ingeniería Nacional*, 10(26), 32-37. <http://www.cip.org.pe/publicaciones/revista-digital/revista-digital-ingenieria-nacional-edicion-26.pdf>.
- Engel, M. S., Grimaldi, D. A., & Krishna, K. (2009). Termites (Isoptera): Their phylogeny, classification, and rise to ecological dominance. *American Museum Novitates*, 3650, 1-27. <http://www.bioone.org/doi/full/10.1206/651.1>.
- Frank, E. T., Buffet, D., Liberti, J., et al. (2024). Wound-dependent leg amputations to combat infections in an ant society. *Current Biology*, 34(14), 3273-3278.e3. [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(24\)00805-4](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(24)00805-4).

REFERENCIAS

- Gibbons, M., Chittka, L., Crump, A., & Barrett, M. (2022). Can insects feel pain? A review of the neural and behavioural evidence. *Advances in Insect Physiology*, 63, 155–229. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065280622000170>.
- Grasse, P. P. (1986). *Termitologie: Comportement, socialité, écologie, évolution, systématique*. Masson..
- Han, B.-C. (2022). *Infocracia: La digitalización y la crisis de la democracia*. Penguin Random House, Grupo Editorial España..
- Harari, Y. N. (2018). *21 lições para o século XXI*. Companhia das Letras..
- Hardt, M., & Negri, A. (2000). *Empire*. Harvard University Press..
- Helbing, D. (2013). Globally networked risks and how to respond. *Nature*, 497(7447), 51–59. <https://doi.org/10.1038/nature12047>.
- Helenstine, A. M. (2024). What we know about the Chernobyl animal mutations. ThoughtCo. <https://www.thoughtco.com/chernobyl-animal-mutations-4155348>.
- Higashi, M., & Abe, T. (1997). Global diversification of termites driven by the evolution of symbiosis and sociality. En T. Abe, S. A. Levin, & M. Higashi (Eds.), *Biodiversity- An ecological perspective* (pp. 83–112). Springer-Verlag New.
- Hölldobler, N., & Wilson, E. O. (1996). *Viaje a las hormigas: una historia de exploración científica*. Ed. Crítica..
- Innerarity, D. (2009). *El nuevo espacio público: La crisis de la democracia y la transformación del conocimiento*. Espasa..
- Innerarity, D. (2025). *Una teoría crítica de la inteligencia artificial*. Galaxia Gutenberg..
- Jürgens, N., Gunter, F., Oldeland, J., et al. Jürgens, N., Gunter, F., Oldeland, J., et al. (2021). Largest on earth: Discovery of a new type of fairy circle in Angola supports a termite origin. *Ecological Entomology*, 46(4), 777–789. <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/een.12996>.
- Krebs, J. (2008). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. Benjamin Cummings..
- Krishna, V. V. (2024). AI and contemporary challenges: The good, bad and the scary. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2199853123002809>.
- Li, H., Sosa-Calvo, J., Horn, H. A., et al. (2018). Convergent evolution of complex structures for ant-bacterial defensive symbiosis in fungus-farming ants. *PNAS*, (42), 10720–10725. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1809332115>.
- Li, H., Sun, C. Y., Fang, Y., et al. (2020). Biomineral armor in leaf-cutter ants. *Nat. Commun.*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19566-3>.
- Marx, K. (1867). *El capital. Tomo I. El proceso de producción del capital* (14.^a ed.). Siglo XXI editores..
- Miller, P., & Page, S. E. Miller, P., & Page, S. E. (2007). *Complex adaptive systems: An introduction to computational models of social life*. Princeton University Press..

- Moffett, M. W. (2010). *Adventures among ants: A global safari with a cast of trillions*. University of California Press..
- Moffett, M. W. (2019). *The human swarm: How our societies arise, thrive, and fall*. Basic Books..
- Montagut-Marques, M. J., Minghao, P., Okada, R., et al. (2025). Electrophysiological investigation of insect pain threshold. *arXiv q-bioarXiv:2502.16088*. <https://arxiv.org/abs/2502.16088>.
- Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2000). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press..
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of ecology*. W. B. Saunders Co.
- Ortega y Gasset, J. (1930). *La rebelión de las masas*. Revista de Occidente..
- Pagano, U. (2020). Why only humans and social insects have a division of labour. *Cambridge Journal of Economics*, 44(1), 1-16. <https://doi.org/10.1093/cje/bez026>.
- Pedrinelli, V., Teixeira, F. A., Queiroz, M. R., et al. (2022). Impacto ambiental de las dietas para perros y gatos. *Sci Rep*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22631-0>.
- Pentland, A. (2014). *Penguin social physics: How good ideas spread-The lessons from a new science*. The Penguin Press..
- Pim, M., Bingtao, S., & Deblomme, S. (2019). La huella ecológica de los perros y gatos de compañía. *BioScience*, 69(6), 467-474. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz044>.
- Ramonet, I. (2019). *La explosión del periodismo: De los medios de masas a la masa de medios*. Editorial Clave Intelectual. https://www.felsemiotica.com/descargas/ramonet_explosion_del_periodismo.pdf.
- Romaniello, A., & Chircu, A. (2018). A connected world: A systematic literature review of the internet effects on society. *Issues in Information Systems*, 19(3), 110-119. https://doi.org/10.48009/3_iis_2018_110-119.
- Sherwin, C. M. (2001). Can invertebrates suffer? Or, how robust is argument-by-analogy? *Animal Welfare*, 10(S1), S103-S118. <https://doi.org/10.1017/S0962728600023551>.
- Tabori, P. (1999). *Historia de la estupidez humana*. Ed. elaleph.com. <https://archive.org/details/historia-de-la-estupidez-humana>.
- Tye, M. (2016). *Tense bees and shell-shocked crabs: Are animals conscious?* Oxford University Press..
- Wade, N. (2006). *Before the dawn: Recovering the lost history of our ancestors*. Penguin..
- Weiss, M. L., & Mann, A. E. (1985). *Human biology and behavior: An anthropological perspective* (4th ed.). Little, Brown & Co..
- Wheat, G. C. (1959). *The world of ants: How they live, work, and communicate within their colonies*. Golden Press.

ALGUNOS PROBLEMAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA MAGNITUD DE UN IMPACTO EN LOS EIA (ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL) A PARTIR DE LA CONDICIÓN DE SISTEMA COMPLEJO ADAPTATIVO DE LOS SISTEMAS AMBIENTALES

SOME PROBLEMS IN ESTIMATING THE MAGNITUDE OF AN IMPACT IN EIA (ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENTS) BASED ON THE COMPLEX ADAPTIVE SYSTEM CONDITION OF ENVIRONMENTAL SYSTEMS.

FECHA DE RECEPCIÓN: 15-11-25 / FECHA DE ACEPTACIÓN: 10-12-25

Edgar Hugo Sanchez Infantas

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Correo electrónico: esi@lamolina.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3895-4585>

RESUMEN

El presente artículo trata de los problemas en la estimación de la magnitud de un impacto en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), dada la naturaleza de los sistemas

ambientales como sistemas complejos adaptativos. El objetivo del artículo es identificar los inconvenientes de usar modelos aditivos y lineales tradicionales en EIA recurriendo a la simulación. La metodología empleada fue la simulación, utilizando un modelo de dinámica de sistemas basado en la población de vicuñas de la Reserva Nacional de Pampa Galeras, donde se evaluó la respuesta del sistema a una perturbación puntual (una sequía). De la investigación se concluye que los sistemas exhiben agencia (autoorganización) y se mueven permanentemente, lo que obliga a los EIA a determinar la trayectoria del ecosistema en lugar de solo su estado actual. Además, no existe conmensurabilidad entre la magnitud del impacto y la respuesta del sistema, ya que la estructura interna del sistema, con sus bucles de retroalimentación y no linealidades, puede amplificar o amortiguar los efectos de las perturbaciones, cuya huella temporal puede durar periodos sorprendentemente largos.

Palabras clave: Estudios de Impacto Ambiental, Bucles de alimentación, Dinámica de sistemas, No linealidad, Sistemas Complejos adaptativos.

ABSTRACT

This article addresses the problems in estimating the magnitude of an impact in Environmental Impact Assessments (EIA), given the nature of environmental systems as complex adaptive systems. The aim of the article is to identify the drawbacks of using traditional additive and linear models in EIA by resorting to simulation. The methodology employed was simulation, using a system dynamics model based on the vicuña population of the Pampa Galeras National Reserve, where the system's response to a specific disturbance (a drought) was evaluated. The research concludes that systems exhibit agency (self-organization) and are in constant motion, which compels EIA to determine the trajectory of the ecosystem rather than just its current state. Moreover, there is no commensurability between the magnitude of the impact and the system's response, since the internal structure of the system, with its feedback loops and nonlinearities, can amplify or dampen the effects of disturbances, whose temporal footprint can last surprisingly long periods.

Keywords: Environmental Impact Studies, Feedback Loops, System Dynamics, Nonlinearity, Adaptive Complex Systems.

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de los impactos ambientales (EIA) de las obras de ingeniería es un caso particular del manejo de la naturaleza y sus recursos. Cilliers et al (2013) en una evaluación del rol de la modelización y la complejidad en el manejo de estos recursos naturales, señalan que las interacciones que suelen haber entre los componentes naturales y los sociales alcanzan tal complejidad que terminan por hacer altamente problemática la predicción de los estados futuros del sistema en respuesta a las intervenciones humanas. Esto es lo

que justamente sucede en los EIA los que, como señala Lawrence (2003) “ *son un proceso sistemático de ... identificación, descripción, medida, predicción, interpretación,..., de impactos potenciales o reales ... de acciones humanas propuestas,..., sobre el ambiente...*” Por tanto, las dificultades señaladas por Cilliers et al (2013) son de total aplicación a la evaluación ambiental.

Pope et al (2013) en una evaluación del desempeño de los EIA y de otras formas de evaluación ambiental, señalan que son de resaltar las innovaciones que están apareciendo, lo que ha llevado al uso de marcos conceptuales como los del manejo adaptativo y a instrumentos como la dinámica de sistemas.

Por su parte, Bowd et al (2015) al proponer incluir la teoría de los sistemas social ecológicos (SES) en la elaboración de los EIA, señalan que al describir el ecosistema se incluye el efecto de las escalas pero que su dinámica interna no se considera explícitamente. Esto se puede resolver con el uso de la dinámica de sistemas como señalan Pope et al (2013).

Ahora bien, ¿por qué la inclusión de la dinámica de sistemas sería tan importante en la descripción de un ecosistema y en la anticipación de sus estados futuros? Como señalan Cilliers et al (2013) un ecosistema es un tipo particular de sistema y como tal tiene un comportamiento complejo. Esta complejidad aparece como producto de las interacciones entre los componentes del sistema de modo que la descripción sólo de los componentes y no de sus interacciones, como se hace rutinariamente en los EIA, está perdiendo información importante. El comportamiento complejo es así, un producto emergente de las interacciones entre los componentes del sistema.

Estos sistemas complejos, además, tienen muchos componentes, cuyas interacciones – al menos algunas – son no lineales, crean bucles de retroalimentación, son locales – en el sentido de que ninguna parte “conoce” el comportamiento del conjunto –; en adición, son termodinámicamente abiertos con lo que operan lejos del equilibrio termodinámico y al mismo tiempo son históricos (Cilliers et al., 2013). Estas características y su pertinencia al momento de entender la sostenibilidad de los ecosistemas ya había sido puesta de manifiesto por Kay y Regier (2000).

De este modo, describir un impacto y anticipar sus efectos sobre un ecosistema usando métodos como las matrices de Leopold van a simplificar la descripción del impacto y no van a permitir evaluar todas sus implicancias (Bowd et al., 2015). El problema parece ser consecuencia de que el modo usual de caracterizar la significancia de un impacto es descomponerlo en una serie de atributos (extensión, duración, intensidad, reversibilidad, por ejemplo) los mismos que se expresan en escalas ordinales a las que se asignan números y que luego se suman (MINAM, 2022; Conesa Fernández – Vitoria, 2010). Es decir, se usa un modelo aditivo para caracterizar el impacto. Esta misma lógica aditiva se usa para caracterizar los efectos conjunto de varios impactos.

En el presente caso se ha buscado de identificar algunos de los inconvenientes de este proceder recurriendo a la simulación con un modelo construido mediante la dinámica de sistemas. Partiendo de un modelo de simulación del comportamiento del ecosistema puna en el ámbito de la Reserva Nacional de Pampa Galeras, se han identificado los efectos de una perturbación puntual – una sequía – sobre una variable biológica que viene a expresar la respuesta del sistema: la población de vicuñas. Si bien una sequía es un agente natural, a diferencia del impacto de una obra de ingeniería, en ambos casos se trata de evaluar la respuesta del sistema a un agente externo. Por lo demás, varias de las características que Cilliers et al (2013) señalan para los sistemas complejos, están presentes en el modelo de Galeras; es el caso de las no linealidades y los bucles de retroalimentación, a los que se suman las respuestas demoradas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 EL MODELO

El modelo de dinámica de sistemas se ha construido usando la información de la Reserva Nacional de Pampa Galeras (Sánchez, 1997); tiene una estructura en la que hay componentes endógenos y exógenos. Los primeros corresponden a los procesos de auto-organización del sistema poblacional y son consecuencia de sus bucles de retroalimentación, sus respuestas no lineales y sus demoras de respuesta. Este sistema hace frente a un factor exógeno, el que se percibe entonces como una variable estocástica y corresponde a la precipitación pluvial. Esta dualidad endógeno/exógeno sigue lo que sugieren Berryman y Kindlmann, (2008). Es justamente este agente externo, aleatorio, el que en el presente caso nos permite evaluar el efecto de un impacto sobre un sistema ambiental.

El modelo gráfico (figura 2.1) tiene una variable de estado (N) que representa el tamaño de la población de vicuñas adultas y dos variables de flujo: RECLUTAS, que representa el ingreso de nuevos individuos adultos y, MUERTOS AD, que representa la mortalidad de la población adulta. Además hay dos variables auxiliares: DISPAST, que representa la disponibilidad de alimento y, PPN que viene a ser la productividad primaria neta, es decir, la capacidad de producción de alimento de la pradera para las vicuñas. Finalmente, la última variable auxiliar es PP que viene a ser la precipitación pluvial, la única variable estocástica del modelo.

El modelo incluye conectores – flechas rojas – que sirven para definir relaciones de causalidad entre las variables. Como ya se dijo, el agente externo, es decir el impacto que opera sobre el sistema poblacional es la precipitación (PP). Existen además dos bucles de retroalimentación: DISPAST-RECLUTAS-N-DISPAST y DISPAST-MUERTOS AD-N-DISPAST. Ambos bucles son de retroalimentación amortiguadora.

Otras características de sistema complejo que están presentes vienen a ser las relaciones

no lineales en la dependencia que tiene RECLUTAS con relación a DISFAST y en la dependencia de MUERTOS AD frente a DISFAST. Por último, la complejidad del sistema se manifiesta en las demoras de respuesta presentes en las no linealidades señaladas; en efecto, RECLUTAS depende de DISFAST pero con una demora de respuesta de un año; por su parte, MUERTOS AD depende de DISFAST con una demora de tres años.

La información con la que se construyó el modelo es consecuencia del registro de información realizado en la Reserva Nacional Pampa Galeras. Su análisis llevó a identificar las respuestas no lineales y las demoras de respuesta antes señaladas. Los detalles de la parametrización del modelo así como las ecuaciones finales que se han empleado se tienen en Sánchez (1997).

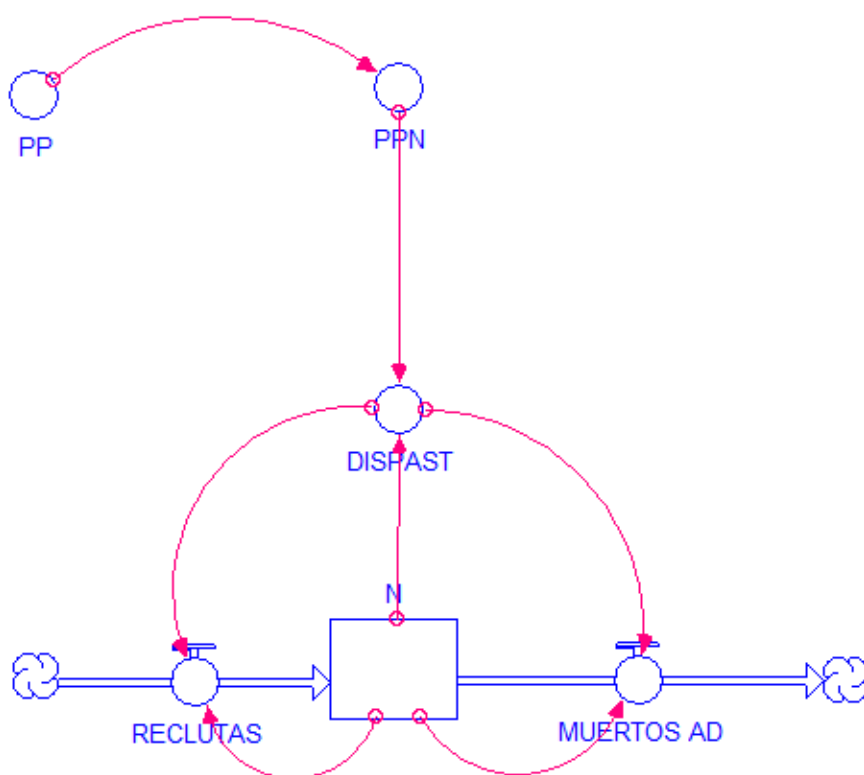


FIGURA 2.1. MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS DE LA POBLACIÓN DE VICUÑAS EN LA RESERVA NACIONAL DE PAMPA GALERAS.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DINÁMICA DEL SISTEMA: NO SE REQUIEREN PERTURBACIONES EXTERNAS PARA HACER QUE EL SISTEMA POBLACIONAL SE MUEVA

La figura 3.1 muestra la evolución del sistema poblacional para un periodo de 50 años y manteniendo los parámetros establecidos empíricamente con la información de Pampa Galeras (Sánchez, 1997). La población inicial es de 1000 individuos y la precipitación pluvial se ha mantenido constante (1000 mm/año) durante todo el periodo. Esta figura

muestra la forma en la que usualmente entendemos a los ecosistemas y sus respuestas frente a los agentes externos – los impactos o perturbaciones, por ejemplo –: un sistema que evoluciona hasta una determinada condición la misma que una vez alcanzada se mantiene indefinidamente en estado estacionario. Esta idea es la que permite que se usen herramientas como los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) (Sánchez y Falero, 2015). En esta forma de ver las cosas, está implícita la idea de que si no hay perturbaciones – variaciones en la lluvia en este caso – el sistema mantiene su estado estacionario. Pero ¿hay evidencia que justifique esta perspectiva?

En la figura 3.2 se tienen condiciones similares a las de la figura 3.1 a excepción de que la respuesta de la mortalidad de los individuos adultos (MORTAD) frente a la disponibilidad de alimento (DISPAST) se ha hecho más fuertemente no lineal. Las ecuaciones usadas en ambas son:

$$(3.1) \text{ MORTAD } t = 0.1949 - 0.0858 \ln \text{ DISPAST } t-3$$

$$(3.2) \text{ MORTAD } t = 0.1949 - 0.858 \ln \text{ DISPAST } t-3$$

El cambio en la no linealidad de la respuesta de la mortalidad a la disponibilidad de alimento es algo que no involucra a un agente externo sino más bien a la estructura interna del propio sistema. La precipitación se mantiene constante a lo largo de los 50 años a pesar de lo cual el sistema poblacional se está moviendo permanentemente. De modo que el sistema se puede mover aunque no haya cambios en su entorno. Esto es a lo que se refieren Kay et al (1999) cuando dicen que los ecosistemas “...no son un mecanismo y más bien exhiben auto-organización, ..., retroalimentación positiva y negativa, autocatálisis, emergencia y sorpresa...”. Por tanto, estos sistemas ya no sólo son pacientes que responden a factores externos que pueden tomar la forma de impactos sino que además son agentes, con sus procesos propios y que pueden evolucionar aún si su entorno se mantiene quieto. Esto es lo que Kay et al (1999) denominan propensión.

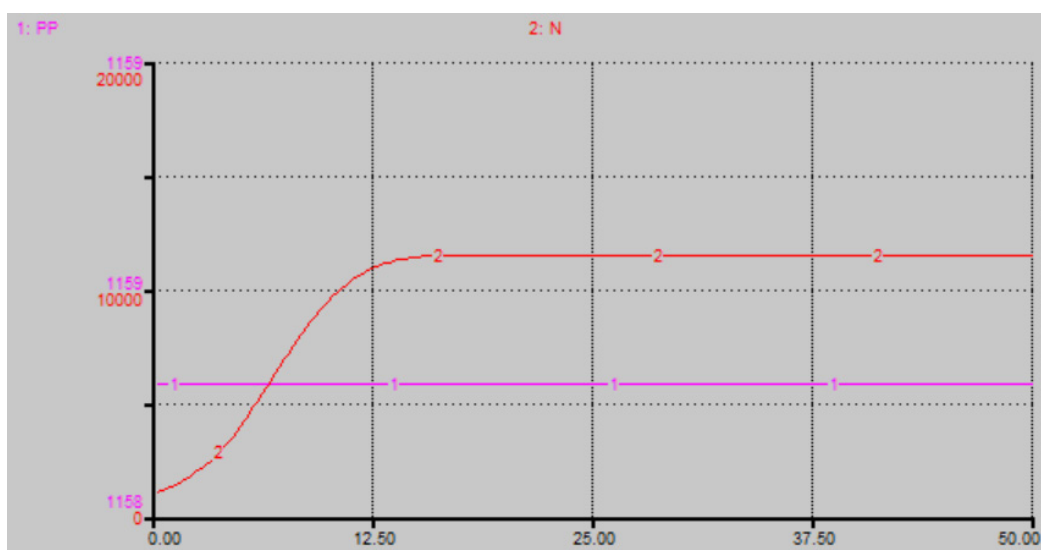


FIGURA 3.1. EVOLUCIÓN DEL SISTEMA POBLACIONAL (2) Y DE LA PRECIPITACIÓN (1) A LO LARGO DE 50 AÑOS.

La implicancia de este tipo de comportamiento para los EIA obliga a que ya no sea suficiente el determinar el estado presente del ecosistema en una línea base; si el sistema se mueve, lo que se requiere es determinar su trayectoria. Esto ya ha sido señalado – en un contexto más general de administración de recursos naturales – por Chapin et al (2009). En segundo lugar, se tiene que revisar la idea de que si un ecosistema cambia – es decir, se mueve – es siempre en respuesta a un agente externo tal como un impacto. El sólo cambio en un ecosistema no se puede usar como indicativo de la presencia de un impacto, cosa que involucra no sólo a los EIA sino también a los programas de monitoreo.

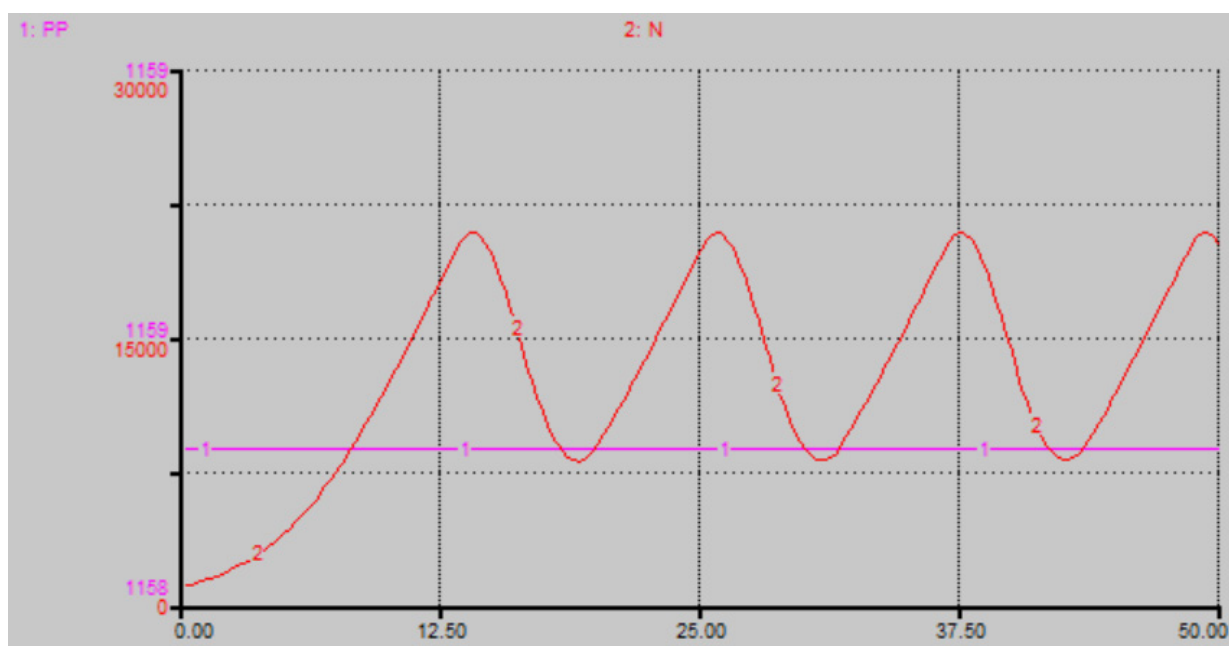


FIGURA 3.2 EVOLUCIÓN DEL SISTEMA POBLACIONAL (2:N) Y DE LA PRECIPITACIÓN (1:PP) A LO LARGO DE 50 AÑOS. LA RESPUESTA DE LA MORTALIDAD DE ADULTOS A LA DISPONIBILIDAD DE PASTOS ES MÁS FUERTEMENTE NO LINEAL QUE EN LA FIGURA 3.1. VER EL TEXTO PARA LOS DETALLES.

Una tercera cosa que se desprende del comportamiento mostrado en la figura 3.2 es la posibilidad de que un ecosistema tenga varios estados alternativos o atractores (Andersen et al, 2008; Beisner et al, 2003; Groffman et al, 2006) a partir de lo cual la idea de Estándar de Calidad – que supone un sólo estado para el ecosistema – pierde sentido (Sánchez y Quinteros, 2017).

Estas tres observaciones obligan a entender la evaluación ambiental, sea con EIA o con programas de monitoreo, como lo señalan Waltner-Toews y Kay (2005) cuando dicen que es una actividad de observación de sistemas humanos y naturales que sintetiza sus hallazgos en una narrativa que describe cómo los ecosistemas llegaron a la situación actual y cómo podrían comportarse en el futuro.

3.2 RESPUESTA DEL SISTEMA POBLACIONAL A UNA PERTURBACIÓN PUNTUAL

La figura 3.3 muestra la respuesta del sistema poblacional frente a una perturbación de carácter puntual representada por una sequía que implica que la precipitación, que desde el inicio se encontraba en 1000 mm/año, en el año 10 experimenta una reducción de su valor a 600 mm/año. Esto representa una perturbación cuya magnitud se puede expresar en un 40% Ahora bien ¿cuál es el efecto de esta perturbación puntual sobre el sistema poblacional?

El sistema poblacional presenta varias características interesantes en su respuesta; lo primero es que no responde de inmediato. De hecho su tamaño era 10973 individuos en el año 9. La sequía hace que su valor disminuya pero el valor mínimo (10792 individuos) recién lo alcanza en el año 14, es decir, con una demora de cinco años. Una segunda característica es que si bien el sistema recibe una perturbación cuya magnitud era del orden del 40%, su respuesta no tiene la misma magnitud. En efecto, si se compara la población del año 9 con la del año 14 – cuando la población alcanza su valor mínimo como consecuencia de la perturbación – se encuentra que ésta ha tenido una disminución de un 1.65%. Esto muestra la relativa independencia que tiene un sistema en sus respuestas frente a la magnitud de perturbación que recibe. Esta no conmensurabilidad entre la magnitud del impacto que se recibe y la magnitud de la respuesta que se emite es una de las formas de definir lo que son respuestas no lineales en un sistema complejo (Cilliers et al, 2013).

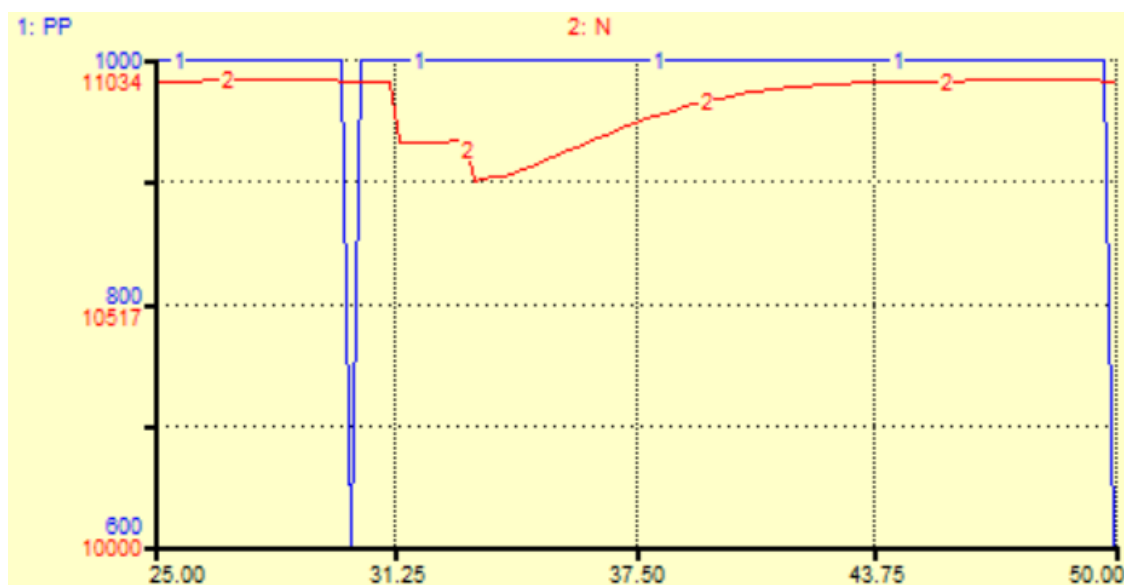


FIGURA 3.3 RESPUESTA DEL SISTEMA POBLACIONAL (N) FRENTE A UNA PERTURBACIÓN PUNTUAL QUE SE EXPRESA EN UNA SEQUÍA REGISTRADA EN EL AÑO 10 Y QUE HACE QUE LA PRECIPITACIÓN (PP) QUE ESTABA EN 1000 MM/AÑO BAJE ESE AÑO A 600 MM/AÑO.

Tal vez uno de los aspectos más críticos de la no conmensurabilidad entre la magnitud de una perturbación y la magnitud de la respuesta del sistema es la muy alta sensibilidad

que los sistemas fuertemente no lineales tienen frente a una perturbación inicial muy pequeña. Este comportamiento – típico del caos determinista – se presenta gráficamente en la figura 3.4, en la que usando el modelo logístico con ecuaciones de diferencias (Berryman y Kindlman, 2008) se ha simulado la trayectoria de dos poblaciones cuya única diferencia es la población inicial: una comienza en 10 individuos y la otra en 11 individuos. Esto se puede interpretar como una perturbación que afecta a la población y que cambia su tamaño inicial en un individuo. El efecto de esta perturbación se amplifica al pasar el tiempo y lo hace al punto que puede superar los 13000 individuos de diferencia entre ambas trayectorias en el año 15. De hecho la diferencia en las poblaciones finales, en el año 30 es de 6091 individuos.

Desde la perspectiva de evaluación de impactos, la diferencia inicial entre ambas poblaciones es la medida de la magnitud del impacto y – como se ha visto – éste se amplifica. Esto implica que no hay impacto pequeño pues un impacto inicialmente calificado como tal puede generar respuestas muy grandes.

Regresando a la figura 3.3, otra cosa que muestra el resultado de la simulación es el tiempo que le toma al sistema poblacional recuperarse de la perturbación recibida. Esto tiene importancia pues representa la posibilidad de estimar – a partir de esta respuesta – la resiliencia del sistema, es decir el tiempo que le toma al sistema recuperar una condición similar a la que tenía inmediatamente antes del impacto. En el presente caso, la simulación muestra que una población similar a la que se tenía en el año 9 recién se alcanza en el año 21, con lo que se puede afirmar que es este el tiempo que le toma a este sistema recuperarse de la perturbación puntual. De este modo, la huella de una perturbación puntual se puede estimar en 12 años, lo que no deja de ser sorprendente para una perturbación puntual. Si a esto se le suman los cinco años que le toma al sistema expresar en su totalidad los efectos de la perturbación, la huella se amplía hasta 17 años, periodo definitivamente muy superior a lo que sería esperable.

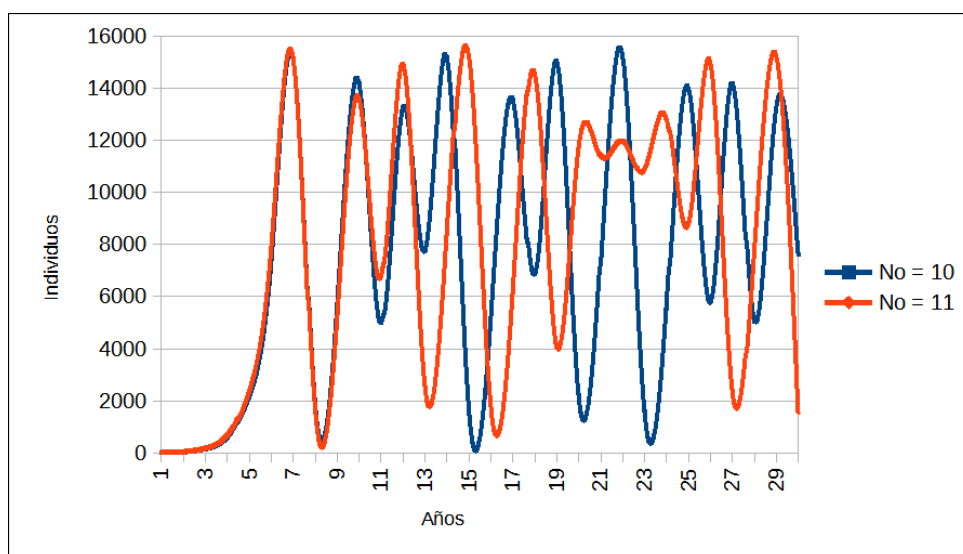


FIGURA 3.4. EVOLUCIÓN DE DOS POBLACIONES CON EL MODELO LOGÍSTICO EN ECUACIONES DE DIFERENCIAS. LA ÚNICA DIFERENCIA ENTRE AMBAS POBLACIONES ES SU TAMAÑO INICIAL No) QUE DIFIERE EN UN INDIVIDUO.

Por tanto, lo que la simulación de una perturbación puntual ha mostrado es que el sistema no responde de inmediato, que su respuesta puede ser diferente en magnitud a la magnitud de la perturbación y, finalmente, que la huella temporal de la perturbación dura tiempos relativamente largos. Si en el caso mostrado esta huella es de 17 años cabe preguntarse si en ese tiempo el sistema poblacional se encontrará libre de perturbaciones de modo que una nueva perturbación llegue sólo después que los efectos de la anterior se hayan disipado por completo. Intuitivamente se puede decir que ese escenario resulta siendo poco plausible, con lo que nos encontramos frente a la necesidad de evaluar el efecto de perturbaciones que se suceden en el tiempo de modo que sus efectos se pueden potenciar o se pueden cancelar dadas las interacciones que tienen entre sí. La siguiente sección discute este escenario.

3.3 RESPUESTAS DEL SISTEMA POBLACIONAL FRENTE A UN CONJUNTO DE IMPACTOS.

Una secuencia de perturbaciones que afectan a un sistema puede ser simulada recurriendo a una serie temporal en la que la fuente de las perturbaciones – la precipitación en el presente caso – se presenta como una serie que exhibe ruido blanco, es decir, una serie completamente al azar. De hecho, como Chatfield (1996) señala, se trata de “...una secuencia de variables aleatorias que son mutuamente independientes e idénticamente distribuidas...” Esto implica impactos a veces por exceso y a veces por defecto, es decir, años muy lluviosos y sequías, en el caso que nos ocupa.

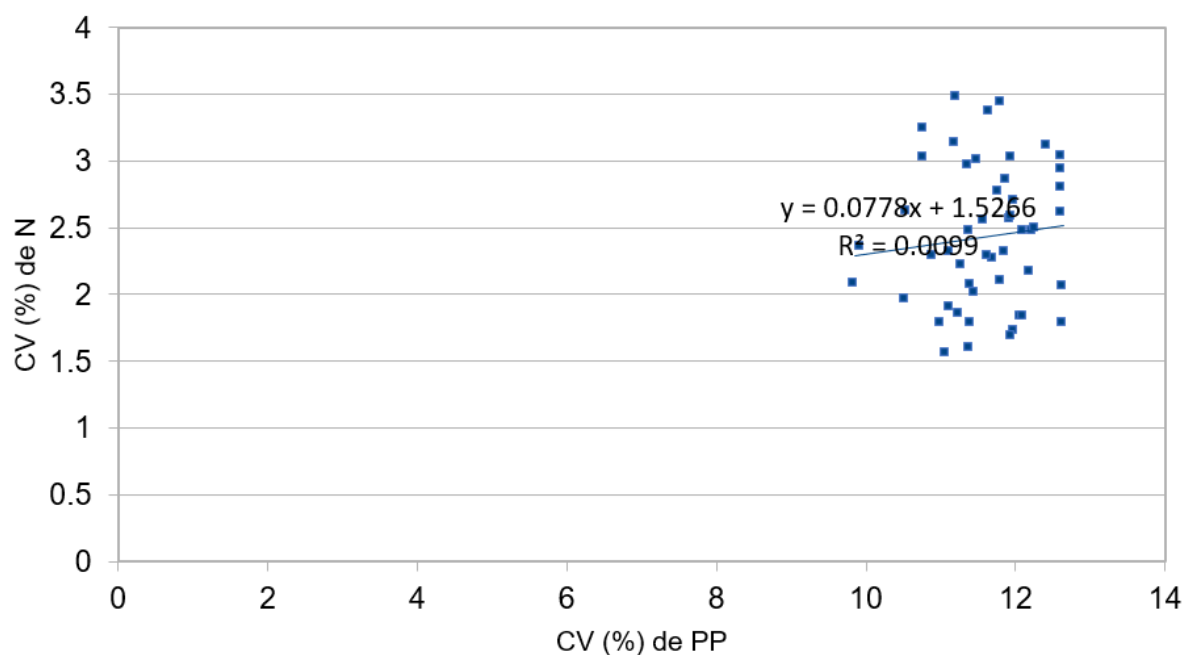


FIGURA 3.5. RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN (CV PP) Y SU EFECTO SOBRE LA VARIABILIDAD DEL SISTEMA POBLACIONAL (CV N), AMBAS EXPRESADAS EN PORCENTAJES.

Se han simulado 50 series de precipitación aleatoria – ruido blanco – de 50 años cada una y se ha registrado la evolución de las poblaciones sometidas a estas secuencias de perturbaciones. Se ha medido la magnitud que las perturbaciones aplican sobre las poblaciones, mediante el Coeficiente de Variabilidad – CV que cada serie de precipitación tiene; la respuesta del sistema poblacional a esta secuencia de perturbaciones se ha medido con el correspondiente CV de la población misma. Esto ha dado lugar a 50 pares de datos cuya relación muestra el diagrama de dispersión de la figura 3.5. Se esperaba que la relación fuese directa y significativa entre ambos CV.

La relación entre la variabilidad de las perturbaciones y la de las respuestas, es directa pero no alcanza significación estadística. Esto está sugiriendo que no es cierto que una perturbación mayor en la lluvia habrá de generar una respuesta mayor en la variabilidad del sistema poblacional. Esto sugiere que no sólo importa la magnitud total de la perturbación – cosa que mide CV PP – sino que además puede ser importante analizar la calidad de estas perturbaciones, por ejemplo, mediante la autocorrelación temporal de las mismas.

Una cosa que queda clara, sin embargo, en la figura 3.5 es que, de modo general, hay un efecto amortiguador en la población frente a las perturbaciones que recibe. El histograma de los 50 valores que han tomado CV PP (azul) y CV N (rojo), se muestran en la figura 3.6, siendo evidente que las perturbaciones tienen una variabilidad sensiblemente mayor (mediana = 11.68) que las respuestas de la población (mediana = 2.41).

Todo esto está sugiriendo que los sistemas poblacionales no se comportan como meros transmisores de las perturbaciones que los afectan, cosa que también se ve cuando se evalúa la calidad de la variabilidad que significan tanto las perturbaciones como las respuestas poblacionales. Se ha tomado al azar una de las 50 simulaciones y se ha evaluado la autocorrelación temporal que han exhibido en los 50 años tanto la precipitación como la población (figura 3.7).

La figura muestra el comportamiento de la precipitación, que exhibe una carencia total de autocorrelación temporal y que corresponde a lo que se denomina ruido blanco, que fue lo que se implementó en la simulación. Esto se evidencia en que para ninguna demora de respuesta (lag) hay algún valor del coeficiente de correlación que salga por fuera de la banda del 95% de confianza (en verde en la figura 3.7).

En contrapartida, el correlograma de la población (en rojo) exhibe autocorrelación temporal que alcanza significación estadística hasta para demoras de respuesta (lag) de tres unidades de tiempo. Más importante aún es el hecho de que la correlación misma muestra un patrón oscilante bastante más ordenado que la evolución de la correlación de la precipitación, evolución carente de patrón.

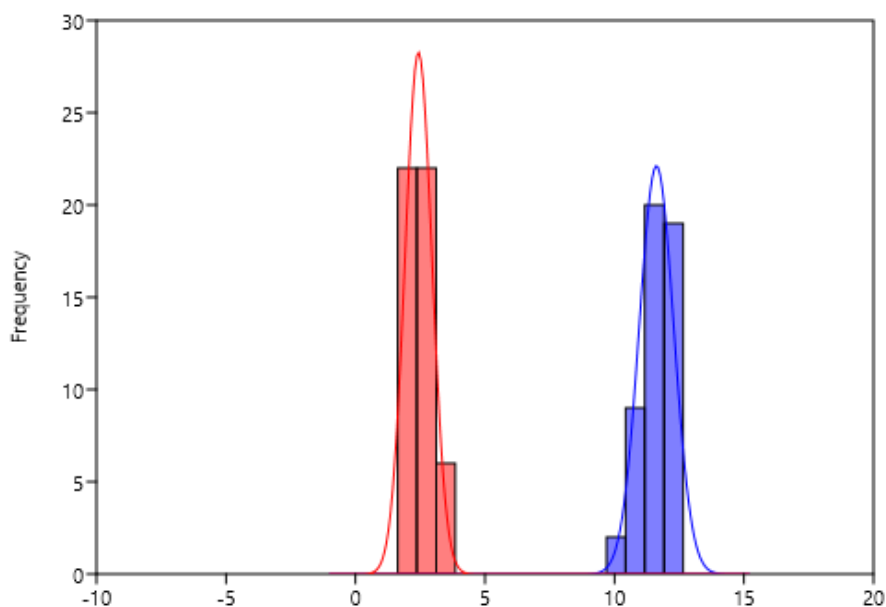


FIGURA 3.6. HISTOGRAMAS DE LA VARIABILIDAD (%) DE LA PRECIPITACIÓN, EN AZUL – EXPRESIÓN DE LAS PERTURBACIONES SOBRE LA POBLACIÓN – Y LA VARIABILIDAD DEL SISTEMA POBLACIONAL, EN ROJO. SE MUESTRA EL EFECTO AMORTIGUADOR DE LA POBLACIÓN SOBRE LAS PERTURBACIONES QUE RECIBE.

Ahora bien, ¿qué sucedería si el sistema fuese más fuertemente no lineal? Antes (figura 3.2) se había visto que un incremento de la no linealidad de la mortalidad de adultos era capaz de inducir una oscilación constante en la población a pesar de que la precipitación se mantenía constante. ¿Se repetirá este comportamiento frente a una precipitación aleatoria como la que estamos evaluando?

El mismo procedimiento que se usó en la sección 3.1 para pasar a una mortalidad de adultos más fuertemente no lineal, se ha empleado en el presente caso. Se ha reemplazado la ecuación:

$$\text{MORTAD } t = 0.1949 - 0.0858 \ln \text{DISPAST } t-3 \quad \text{por la ecuación}$$

$$\text{MORTAD } t = 0.1949 - 0.858 \ln \text{DISPAST } t-3.$$

Con esta nueva ecuación se han corrido 30 simulaciones de PP aleatoriamente generada (ruido blanco) y la forma en que el sistema poblacional se ha comportado en respuesta. Los correspondientes coeficientes de variación (CV) de cada una de las 30 series tanto para la precipitación como para la población se muestran en el diagrama de dispersión de la figura 3.8.

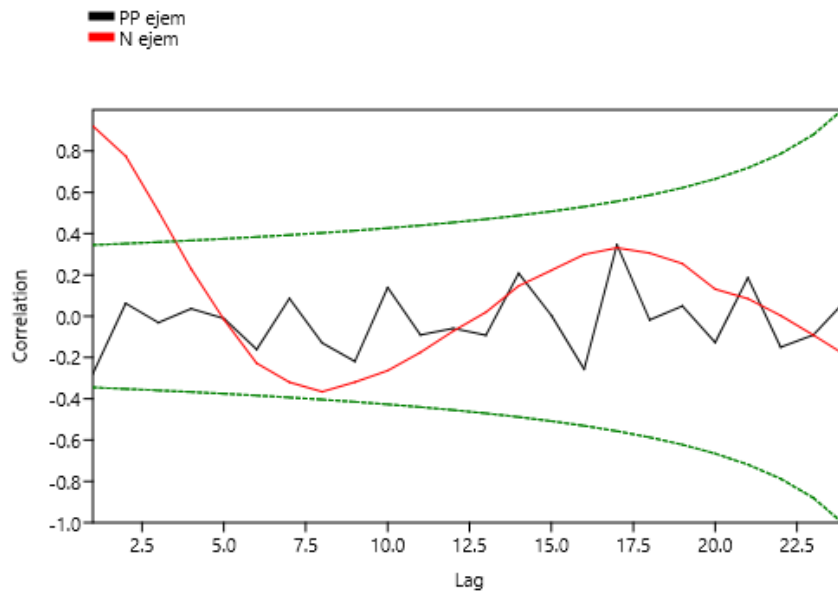


FIGURA 3.7 CORRELOGRAMAS PARA UNA SERIE DE PRECIPITACIÓN (NEGRO) Y PARA LA RESPUESTA QUE FRENTE A ESA SERIE TIENE LA POBLACIÓN (ROJO). LA BANDA CONTENIDA ENTRE AMBAS LÍNEAS VERDES REPRESENTA LA FRANJA DEL 95% DE CONFIANZA.

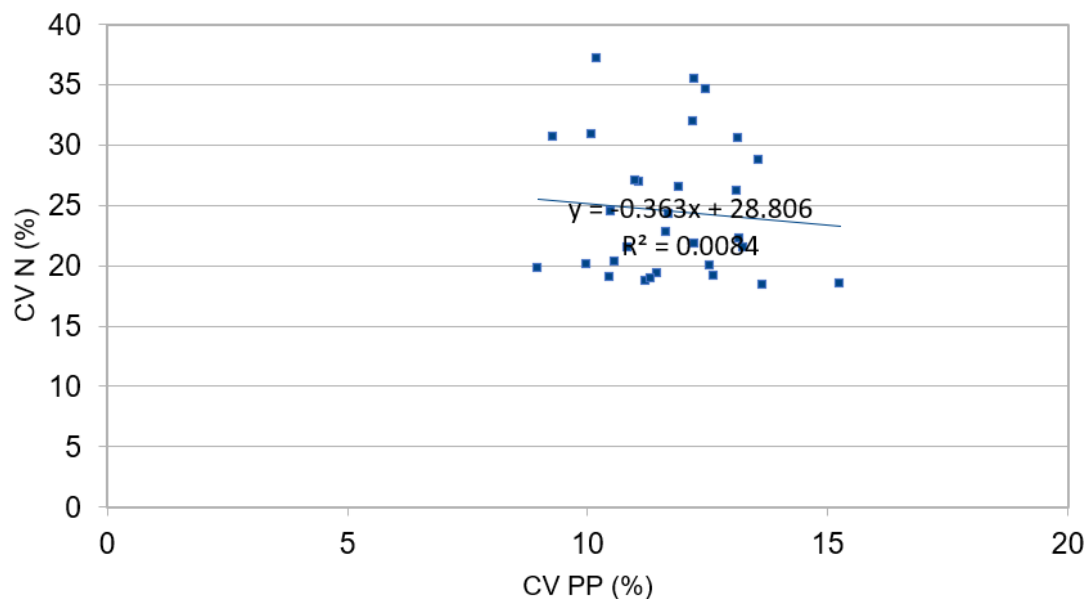
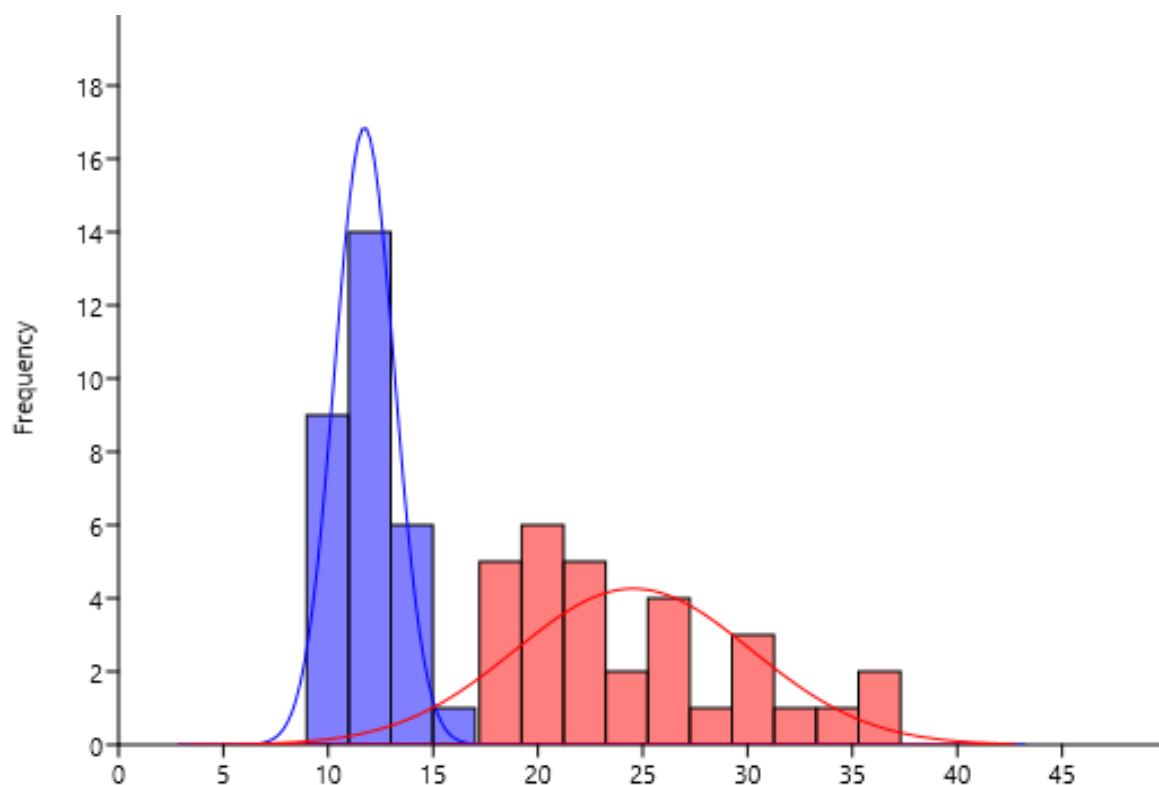


FIGURA 3.8 COEFICIENTES DE VARIACIÓN PARA 30 SIMULACIONES DE PRECIPITACIÓN (CV PP) Y LOS CORRESPONDIENTES COEFICIENTES DE VARIACIÓN DE LA POBLACIÓN (CV N) EN RESPUESTA.

El diagrama de dispersión de la figura 3.8 está mostrando la misma carencia de relación estadísticamente significativa entre los CV de la precipitación y del sistema poblacional que ya se había visto con una relación no tan fuertemente no lineal (figura 3.5). También en este caso se está frente a un sistema poblacional que no es un mero transmisor de las perturbaciones que recibe. Si así fuera debería suceder que mientras mayor sea la magnitud de las perturbaciones sobre el sistema poblacional, éste debería tener respuestas mayores también.

Una peculiaridad que ha surgido con este sistema más fuertemente no lineal tiene que ver con la magnitud de las variaciones de la población (CV N). En este caso la variabilidad de la población resulta siendo mayor que la de la precipitación, tal como se ve en la figura 3.9. En efecto, en este caso el histograma de los CV de la población (rojo) se ubica a la derecha del histograma de los CV de la precipitación (azul); la mediana de los CV de la población (me = 22.45) es superior a la de los CV de la precipitación (me = 11.67).

De este modo, estos resultados mostrarían que con relaciones más fuertemente no lineales el sistema poblacional estaría comportándose como una especie de amplificador de las perturbaciones que recibe. Al examinar una serie de precipitación escogida al azar de entre las 30 simulaciones y la correspondiente serie poblacional, ambas mediante sus correlogramas, se puede ver (figura 3.10) una correlación inexistente para la precipitación (en negro); esto es lo que corresponde a un ruido blanco, como se había señalado antes. La correlación para la población, en cambio, muestra tanto una autocorrelación temporal para demoras de hasta tres unidades de tiempo y, lo más importante, un patrón sinusoidal muy marcado, con un periodo de alrededor de 11 años y que alcanza significación estadística para demoras de 6, 11, 17 e incluso 22 años. Estas son característica de ruido rojo.



PERTURBACIONES SOBRE LA POBLACIÓN – Y LA VARIABILIDAD (RESPUESTA) DEL SISTEMA POBLACIONAL, EN ROJO.

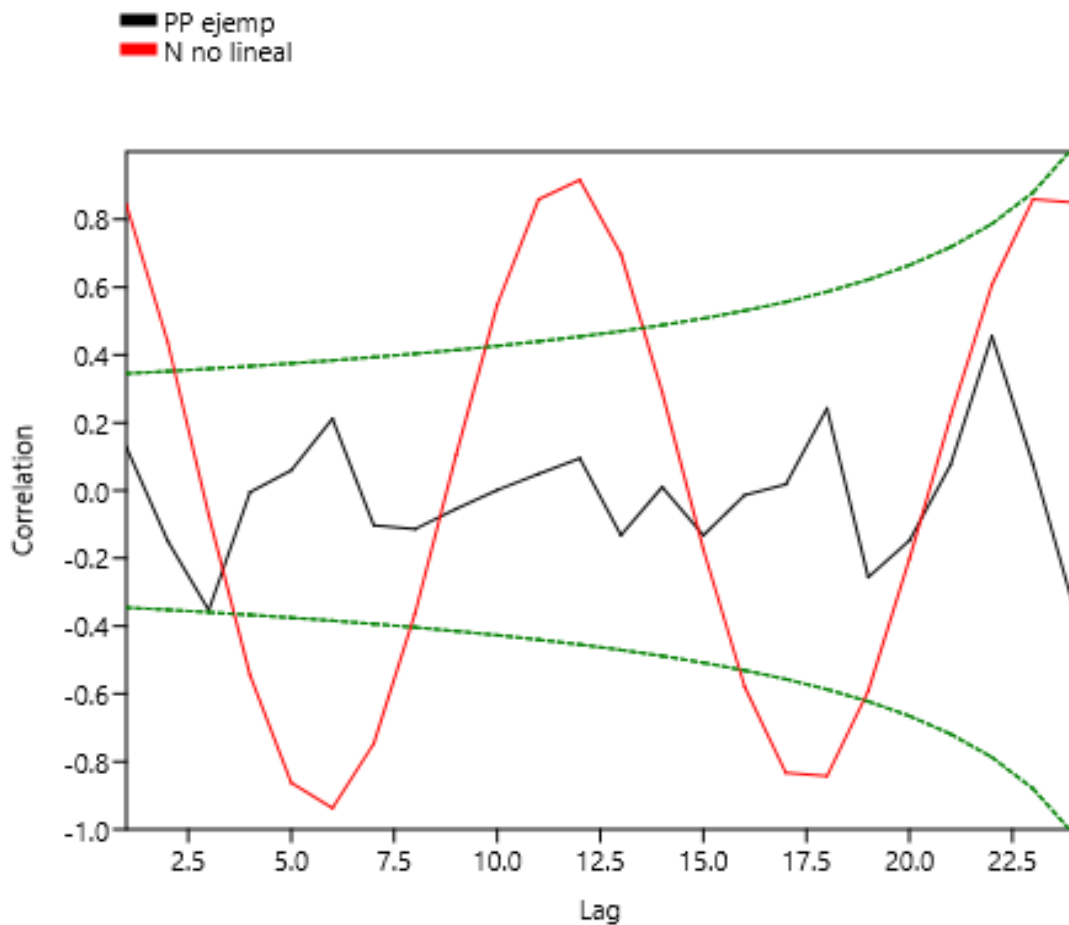


FIGURA 3.10 CORRELOGRAMAS PARA UNA SERIE DE PRECIPITACIÓN (NEGRO) Y LA RESPUESTA POBLACIONAL (ROJO) PARA UN SISTEMA POBLACIONAL FUERTEMENTE NO LINEAL. LA BANDA ENTRE LAS LÍNEAS VERDES CORRESPONDE A LA FRANJA DEL 95% DE CONFIANZA.

De este modo, se está haciendo evidente que la magnitud de la respuesta del sistema poblacional no depende sólo de la magnitud del impacto que recibe ya que en ocasiones puede funcionar como amortiguador de esos impactos y en otras ocasiones puede funcionar como amplificador de las mismas. Por lo que se ha visto, esta capacidad de amplificar o de amortiguar el efecto de los impactos es algo que depende de la estructura interna del sistema, en el ejemplo mostrado, de la magnitud de la no linealidad interactuando con las demoras de respuesta a través de los bucles de retroalimentación existentes. En ambos casos sin embargo, es decir sea que el sistema amplifique o amortigüe los impactos que recibe es notable el hecho de que genera series temporales de ruido rojo a partir del ruido blanco que recibe. Dicho de otro modo, es capaz de hacer surgir patrones definidos – como los ciclos sinusoidales señalados – a partir de series totalmente aleatorias, carentes de patrón.

4. A MODO DE CONCLUSIÓN.

Los resultados que se han mostrado permiten identificar algunas características de las respuestas de los sistemas complejos – como los sistemas ambientales – a las fuerzas externas – por ejemplo los impactos – que sobre ellos operan. Estas características y sus consecuencias para la evaluación ambiental se presentan a continuación.

En principio, los sistemas ambientales no se mueven sólo porque haya una fuerza externa – un impacto – que sobre ellos actúe. Es decir, no son sólo pacientes de estas fuerzas sino que tienen agencia, es decir la capacidad de moverse aún en ausencia de estas fuerzas. De forma que no tiene sentido creer que los cambios en un sistema ambiental son sólo consecuencia de los impactos que recibe. Esto obliga a que en las líneas base de los EIA no sólo sea necesario describir el estado presente del sistema sino más bien su trayectoria, la ruta por la cual el sistema llegó a su estado actual.

Al mismo tiempo, la identificación de trayectorias permite identificar que el sistema ambiental puede tener varios estados alternativos, varios atractores. De este modo, la idea de “equilibrio ambiental” que suele asumir que los sistemas se encuentran en estado estacionario hasta que haya un impacto que los saque de esa condición, dejan de tener sentido.

Dada la complejidad inherente a los sistemas ambientales, sus respuestas a un impacto puntual no serán necesariamente inmediatas y puede haber demoras de respuesta. Al mismo tiempo, el tiempo que le toma al sistema recuperar su estado previo al impacto – su resiliencia – puede demorar más tiempo todavía. Por tanto, la huella de una perturbación puntual puede durar muchos años; 17 años en el presente caso es lo que dura la huella de una sequía puntual.

Además, no suele haber conmensurabilidad entre la magnitud del impacto y la magnitud de la respuesta del sistema, es decir, dado que existen bucles de retroalimentación el sistema puede amplificar o puede amortiguar los impactos que recibe. En adición, no sólo modifica la cantidad de impacto que recibe sino que además modifica su calidad, convirtiendo impactos que se pueden presentar como ruido blanco en respuestas que se manifiestan como ruido rojo.

Esta riqueza de comportamientos lleva a desconfiar de las caracterizaciones de los impactos en base a propiedades como la extensión, la duración, la reversibilidad, la intensidad, y similares, características que se cuantifican en base a escalas arbitrarias y que luego se agregan usando una lógica lineal y aditiva. Esta aproximación además, suele tratar a los impactos individualmente y su agregación se vuelve a hacer con una lógica aditiva.

Proceder así implica desconocer que los comportamientos que han sido descritos son productos emergentes de las interacciones de todos los elementos que forman parte del sistema y los impactos que recibe. Resulta curioso constatar que una herramienta que

ayudaría a superar estas limitaciones y que existe como instrumento hace mucho tiempo no se use en la práctica cotidiana; se trata de los diagramas de interacciones (Espinoza, 2007) los mismos que pueden servir para pasar a modelos gráficos y dinámicos del sistema afectado por los impactos (Biggs et al, 2022). La implementación de esta herramienta y el cambio del modelo mental con el que se hacen los EIA para tomar en cuenta que los sistemas ambientales son sistemas complejos adaptativos, son tareas que se deben acometer.

REFERENCIAS

- Andersen, T., Carstensen, J., Hernández-García, E., & Duarte, C. (2008). Ecological thresholds and regime shifts: Approaches to identification. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(1), 49–57.
- Beisner, B. E., Haydon, D. T., & Cuddington, K. (2003). Alternative stable states in ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(7), 376–382.
- Berryman, A., & Kindlmann, P. (2008). *Population systems*. Springer Science + Business Media B.V.
- Biggs, R., de Vos, A., Preiser, R., Clements, H., Maciejewski, K., & Schlüter, M. (Eds.) (2022). *The Routledge handbook of research methods for social-ecological systems*. Routledge.
- Bowd, R., Quinn, N. W., & Kotze, D. C. (2015). Toward an analytical framework for understanding complex social-ecological systems when conducting environmental impact assessments in South Africa. *Ecology and Society*, 20(1), 41. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07057-200141>.
- Chapin, F. S. III, Kofinas, G. P., & Folke, C. (Eds.) (2009). *Principles of ecosystem stewardship: Resilience-based natural resource management in a changing world*. Springer Science+Business Media, LLC. 10.1007/978-0-387-73033-2.
- Chatfield, C. (1996). *The analysis of time series: An introduction* (5th ed.). Chapman & Hall.
- Cilliers, P., Biggs, H. C., Blignaut, S., Choles, A. G., Hofmeyr, J. S., Jewitt, G. P. W., & Roux, D. J. (2013). Complexity, modeling, and natural resource management. *Ecology and Society*, 18(3), 1. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05382-180301>.
- Conesa Fernández-Vitoria, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4.ª ed.). Mundi-Prensa.
- Espinoza, G. (2007). *Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Banco Interamericano de Desarrollo – BID, Centro De Estudios Para El Desarrollo – CED.
- Groffman, P. M., Baron, J., Blett, T., Gold, A., Goodman, I., Gunderson, L., Levinson, B., Palmer, M., Paerl, H., Peterson, L. P., Rejeski, D., Reynolds, J., Turner, M., Weathers, K., & Wiens, J. (2006). Ecological thresholds: The key to successful environmental management or an important concept with no practical application? *Ecosystems*, 9, 1–13. 10.1007/s10021-003-0142-z.
- Kay, J., & Regier, H. (2000). Uncertainty, complexity and ecological integrity: Insights from an ecosystem approach. En P. Crabbe, A. Holland, L. Ryszkowski, & L. Westra (Eds.).
- Kay, J., Regier, H., Boyle, M., & Francis, G. (1999). An ecosystem approach for sustainability: Addressing the challenge of complexity. *Futures*, 31(7), 721–742.
- Lawrence, D. (2003). *Environmental impact assessment: Practical solutions to recurrent problems*. John Wiley and Sons.
- Ministerio del Ambiente. (2022). *Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales en el marco del SEIA*. Ministerio del Ambiente.
- Pope, J., Bond, A., Morrison-Saunders, A., & Retief, F. (2013). Advancing the theory and

practice of impact assessment: Setting the research agenda. *Environmental Impact Assessment Review*, 41, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2013.01.008>.

- Sánchez, E. (1997). *Variabilidad espacial temporal de una población de vicuñas y modelos para su gestión* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid.
- Sánchez, E., & Falero, M. (2015). ¿A qué paradigma de gestión de la naturaleza adscribe la normativa peruana sobre calidad ambiental? *Ecología Aplicada*, 14(2).
- Sánchez, E., & Quinteros, Z. (2017). Pertinencia del concepto de estándar de calidad ambiental (ECA) en la gestión de sistemas ambientales con varios estados alternativos. Estudio de caso de una experiencia peruana. *Ecología Aplicada*, 16(2). <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i2.1019>.
- Waltner-Toews, D., & Kay, J. (2005). The evolution of an ecosystem approach: The diamond schematic and an adaptive methodology for ecosystem sustainability and health. *Ecology and Society*, 10(1), 38. <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art38/>.

LO QUE LOS FORESTALES PUEDEN APRENDER DE LA FILOSOFÍA DE LA VIDA VEGETAL

WHAT FORESTERS CAN LEARN FROM THE PHILOSOPHY OF PLANT LIFE

FECHA DE RECEPCIÓN: 06-11-25 / FECHA DE ACEPTACIÓN: 10-12-25

Rodrigo Arce Rojas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Correo: rarce@uni.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0007-7174>

RESUMEN

El presente artículo trata de lo que los forestales pueden aprender de la Filosofía de la vida vegetal. El propósito es contribuir con el enriquecimiento del marco teórico y operacional de las Ciencias Forestales a partir de los aportes de la Filosofía de la vida vegetal en el marco de la apertura a la interdisciplinariedad. Producto de la revisión se encuentra que la Filosofía de la vida vegetal abre la perspectiva forestal de manera significativa y transformadora porque aporta a la revisión de los marcos epistemológicos (teóricos y metodológicos) y los marcos ontológicos con los que hasta ahora el sector forestal ha venido aplicando en Latinoamérica, y en el mundo. La Filosofía de la vida vegetal invita a repensar el rol asignado tradicionalmente a los bosques fundamentalmente como abastecedores de materias primas.

Palabras Clave: Bioética, bosques, epistemología, filosofía, ontología.

ABSTRACT:

This article deals with what foresters can learn from the Philosophy of Plant Life. The purpose is to contribute to the enrichment of the theoretical and operational framework of

Forest Sciences through the contributions of the Philosophy of Plant Life within the context of openness to interdisciplinarity. As a result of the review, it is found that the Philosophy of Plant Life significantly and transformatively broadens the forestry perspective because it contributes to the reassessment of the epistemological (theoretical and methodological) and ontological frameworks that the forestry sector has so far applied in Latin America and worldwide. The Philosophy of Plant Life invites a reconsideration of the role traditionally assigned to forests, fundamentally as suppliers of raw materials.

Keywords: Bioethics, forests, epistemology, philosophy, ontology.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Clasificación de Áreas Científicas de Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) la Ingeniería Forestal es una disciplina que se ubica en la Gran área de las Ciencias Agrícola, en el Área de Agricultura, Silvicultura y Pesca (OCDE, 2015). La Ingeniería Forestal, incluyendo sus denominaciones afines, está orientada a la conservación y aprovechamiento sostenible de los bosques. En el Perú generalmente está organizado en tres grandes campos: a. La Conservación de los Bosques, b. El manejo de los bosques, y c. La industria forestal. Como disciplina científica se registra su nacimiento en Europa y estaba orientada a la provisión permanente y sostenida de la madera. Aunque el concepto de bosques incluye toda la biodiversidad forestal en el país existen tres grandes sesgos: El sesgo maderero, el amazónico y el productivo. El enfoque disciplinario es importante pero no lo suficiente como para abordar la complejidad de los bosques.

En el Perú el abordaje de la Filosofía forestal es aún reciente e inicial (Arce, 2018, 2019, 2020a, 2023a, 2023b). En los últimos años la Revista Forestal del Perú ha dado apertura a temas ligados a la Filosofía forestal. El presente artículo es una invitación a los profesionales forestales a adentrarse al apasionante y maravilloso mundo de la Filosofía, y en específico de la Filosofía de la vida vegetal. Para ello es necesario dejar sentado una primera premisa que dice que no hay buena ciencia sin una buena filosofía, y no hay una buena filosofía sin una buena ciencia (Maldonado, 2021a). De paso señalar que herederos de una epistemología cartesiana-newtoniana y positivista los forestales han separado las ciencias naturales de las ciencias sociales y de las humanidades y artes. Actualmente tales separaciones ya no tienen sentido y se requiere recuperar el sentido de lo interrelacionado e interdependiente (Cavada, 2004; Maldonado, 2009a; Descola, 2011; Escobar, 2011; Maldonado, 2019a; de la Cadena, 2020; Díaz, 2020; Blaser y Rodríguez, 2022), ello sin llegar al todismo (holismo), pero siendo capaz de reconocer los núcleos, los patrones en el marco de sistemas complejos adaptativos. Pero además, siendo capaz de reconocer los múltiples fenómenos de la complejidad como los quiebres, las fracturas, las singularidades, lo raro, lo extraño, lo incierto, lo paradójico, las crisis, los azares, las contingencias, las brumas,

las borrosidades, los intersticios, entre otros tantos fenómenos de la complejidad de la realidad múltiple (Maldonado, 2009b, 2016a, 2016b, 2019a).

Consecuentemente, los forestales tienen que desprenderse de la idea que lo suyo es relativo a lo ingenieril y que no se puede mezclar con “especulaciones” o el exceso de subjetividades. La Filosofía tiene la virtud de hacerse preguntas sobre todo y nunca se conforma con las primeras explicaciones. Tiene además la apertura para incorporar grados de libertad al pensamiento, explorar posibilidades, abrir las miradas, buscar los sentidos y significados desde múltiples ángulos, aristas, sin perder la rigurosidad en el razonamiento acariciando a su vez el mundo de la subjetividad. La actitud filosófica abre perspectivas insospechadas y su irreverencia a la disciplina hace que se convierta tanto en indisciplinaria e incluso a veces antidisciplinaria (Arce, 2020b). La Filosofía, tanto como las Ciencias de la Complejidad, se caracterizan por la desmesura, por la irreverencia, por el desborde y de esa manera quiebran las normas, la sociedad y las instituciones (Maldonado, 2009b; Maldonado, 2016a, 2016b).

Los forestales deberían preocuparse por la Filosofía forestal porque les permite conocer las diferentes discusiones académicas que se vienen desarrollando con relación a los bosques que van más allá de las preocupaciones tradicionales a los que están acostumbrados y les permite incorporar nuevas aproximaciones que tienen diversas implicancias en su manera de pensar, sentir y actuar tanto en lo que refiere a los propios bosques como las formas que los humanos se relacionan con los bosques. Esta libertad para pensar constituye valiosa referencia para enriquecer su marco epistémico, ontológico y valorativo con implicancias prácticas en su desenvolvimiento profesional. Con la visión reduccionista de los bosques solo como recursos forestales se pierden otros valiosos elementos y procesos orientados a una relación convivencial y respetuosa con los bosques.

Es por ello que este artículo busca contribuir con algunos elementos del pensamiento de filósofos que tienen mucho que enseñar a los forestales: El filósofo Colombiano Carlos Maldonado (Maldonado, 2009, 2016a, 2016b, 2016c, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2022; Maldonado et al. 2019), el filósofo franco italiano Emanuele Coccia (Coccia, 2017, 2018, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2023a, 2023b, 2023c, 2023d), y el filósofo canadiense (de origen ruso) Michael Marder (2013, 2014, 2016, 2021a, 2021b, 2021c). Por supuesto que hay otros filósofos y filósofas (Heidegger, 1997a, 1997b, 1997c; Calvo and Keijzer, 2009, 2011; Calvo, 2016; Calvo et al. 2020; Calvo, 2022, entre otros) pero este artículo está delimitado a los tres autores citados por el papel relevante en el desarrollo de la Filosofía de la vida vegetal en la actualidad.

2. METODOLOGÍA

En el presente artículo de revisión y reflexión se planteó una metodología cualitativa, descriptiva e interpretativa. Los filósofos fueron seleccionados por su contribución directa

lo que se podría llamar una Filosofía de la vida vegetal, un representante Latinoamericano (Carlos Eduardo Maldonado), un representante europeo (Emanuele Coccia) y un representante mixto (el canadiense de origen ruso Michael Marder). Por cuestiones de acceso se revisó fundamentalmente literatura disponible en español, aunque no se descartó algunos materiales en inglés, y se estudiaron conferencias disponibles en YouTube de los tres filósofos. Aunque las reflexiones parten desde el conocimiento del sector forestal peruano sus resultados son proyectables a las Ciencias Forestales de América Latina. Las búsquedas bibliográficas se realizaron principalmente en ProQuest (<https://www.proquest.com>), Academia.edu (<https://www.academia.edu>), ResearchGate (<https://www.researchgate.net>), Redalyc (<https://www.redalyc.org>), SciELO ([SciELO.org](https://www.scielo.org)) y Google Académico

(<https://scholar.google.com/>). Las palabras de búsqueda fueron los nombres de los autores, inteligencia vegetal, pensamiento vegetal, Filosofía de la vida vegetal, conciencia de las plantas, inteligencia de las plantas. Se ha privilegiado artículos desde el 2010 hasta el presente.

El artículo es una invitación al sector profesional a revisar las contribuciones de la Filosofía de la vida vegetal al quehacer forestal en América Latina. El problema de investigación refiere a la escasa apertura a los aportes de la Filosofía de la vida vegetal a las reflexiones y prácticas del sector forestal. La pregunta principal de investigación es ¿De qué manera los aportes de la Filosofía de la vida vegetal contribuyen a los enfoques y prácticas del sector Forestal en América Latina? Las preguntas específicas son: ¿Cuáles son las tesis centrales de la Filosofía de la vida vegetal vinculadas a los bosques? ¿Qué se puede aprender de la Filosofía de la vida vegetal para enriquecer al sector forestal? ¿Cuáles son las implicancias de estos aportes filosóficos a los enfoques y prácticas del sector forestal?

Es propósito del artículo contribuir con el enriquecimiento del marco teórico y operacional de las Ciencias Forestales a partir de la apertura a la interdisciplinariedad.

Para poder dar respuestas a la preguntas en primer lugar se señalan las tesis centrales de los tres filósofos relativos a los bosques. En segundo lugar se presenta la aplicación de los aportes filosóficos al sector forestal y en tercer lugar se presentan las implicancias de estos aportes filosóficos a los enfoques y prácticas del sector forestal. Se realiza una discusión y se extraen conclusiones.

Se aclara que se trata de revisar aspectos de la Filosofía de la vida vegetal más directamente vinculados con el manejo forestal por lo que la búsqueda es selectiva y no refiere a la copiosa producción científica y filosófica de los filósofos aludidos. El análisis se realiza desde una perspectiva interdisciplinaria e indisciplinaria.

3. RESULTADOS

3.1 TESIS CENTRALES DE LOS FILÓSOFOS SELECCIONADOS RELATIVOS A LOS BOSQUES:

3.1.1 CARLOS MALDONADO

Carlos Maldonado, es eximio representante de las Ciencias de la Complejidad a nivel global. Maldonado afirma que las Ciencias de la Complejidad aluden a las ciencias de la vida. Por tanto un aporte central de Maldonado es poner a la vida en general como eje central de preocupación de la humanidad (Maldonado, 2019b, 2021b, 2021c, 2021d). El autor explica que la vida es un fenómeno apasionante que no resulta fácil definir. De él se ha aprendido que actualmente ya no es fácil dividir la vida de la no vida, lo orgánico de lo inorgánico, lo biótico de lo abiótico y las diferencias son únicamente de grados, cualitativas o de organización (Maldonado, 2016c). Señala además que la vida hunde sus raíces en la mecánica cuántica, todo organismo es una manifestación física de la información heredable internamente codificada, los sistemas vivos son no algorítmicos, entre otros aspectos (Maldonado, 2021d).

Ahora bien, no se trata únicamente que el planeta se comporta como un ser vivo sino que el mismo planeta está vivo. Según el organicismo, no existe ninguna división o separación alguna entre los seres humanos y la naturaleza, y ésta debe ser vista como un proceso de transformaciones de la forma (Maldonado, 2021d). El ADN hace que los seres humanos no sean tan distintos de otros organismos, entre ellos las plantas (Maldonado, 2022, p.36), aunque claro está, se mantienen especificidades. Para el caso específico de las plantas se puede hablar de “plantiness”, que se puede traducir como la “plantidad”, que refiere al «ensamblaje de cualidades que hace a una planta» Head et al. (2012, p.3).

Maldonado plantea que la naturaleza piensa más y mucho mejor que los seres humanos (Maldonado, 2016c) una idea radicalmente perturbadora para quienes creían que solo los seres humanos pensaban. Esta posición tiene un referente en Kohn (2013) quien afirma que las selvas piensan de manera análoga pero de forma diferente que los seres humanos. Ahora bien, hay que precisar que las plantas no tienen una conciencia intuitiva de un estado mental o emocional sino que su conciencia es propia de su condición de planta, lo que no les impide estar consciente de su entorno pues son capaces de ver, escuchar, oler, sentir, recordar, entre otras manifestaciones, del modo que lo hacen las plantas (Ares, 2019; Chamovitz, 2019, p.84).

Un aporte fundamental de Maldonado, y que no solo es aplicable a los bosques, refiere al hecho de incorporar el abordaje de la realidad desde las Ciencias de la Complejidad, que refiere a un conjunto de disciplinas, teorías, enfoques, aproximaciones, para explicar las múltiples realidades. No hay una única realidad pues cada organismo, cada colectivo, cada especie, interpreta la realidad desde su particular modo. Por ejemplo las diversas

perspectivas de ser occidental, las diversas perspectivas de los pueblos, la perspectiva de los diversos animales o la perspectiva del modo de ser planta (plantiness).

Desde el enfoque de la complejidad los bosques pueden ser abordados desde la Biocomplejidad, desde las diversas ramas de la Biología, como por ejemplo la Biología Cuántica o la Biología computacional, entre otras (Maldonado, 2019). Asimismo, da cabida a la Biosemiótica, con sus diversas orientaciones: La Antroposemiótica, la Zoosemiótica o la Fitosemiótica. Entonces es posible abordar las realidades desde los signos, las señales, desde los lenguajes orales y otros lenguajes no orales pero igual de significativos (Maldonado, 2021d). Las diversas interrelaciones entre signos y señales de la vida hacen posible la Ecosemiótica.

Pero también es importante la Epigenética que permite entender que no hay diferencia entre cultura y naturaleza pues son ambas manifestaciones de la vida que es una sola. Precisamente la epigenética va a ser una de las fuentes que va a reforzar la unicidad de las diversas expresiones de vida (Maldonado et al., 2019). En el fondo humanos, animales, plantas e incluso microorganismos no son tan diferentes, si bien es cierto se han generado diferentes líneas evolutivas que generan particulares formas de ser y estar en el mundo. El origen de la vida por tanto no puede reducirse únicamente a temas físicos- químicos pues es mucho más complejo que eso (Maldonado et al., 2019).

En el campo de las plantas, recogiendo los aportes de los científicos de la Neurobiología vegetal, término no exento de controversias, se reconoce los diferentes grados de conciencia, inteligencia y sensibilidad de las plantas (Calvo, 2016). Calvo y Lawrence (2023) reconocen las limitaciones del uso del término “neurobiología vegetal” y enfatiza los fenómenos eléctricos, señales, capacidades sensoriales, entre otros. Se reconoce la capacidad de las plantas no sólo para procesar informar e interpretar el medio sino también para modelar el medio y a su vez ser modelado por él. Esta capacidad de las plantas se sustenta en su capacidad de ajustar su metabolismo. Un ejemplo dramático de esta situación se da en árboles susceptibles a incendios forestales que modifican su estructura bioquímica para resistir los incendios.

En el campo de las relaciones con la naturaleza Maldonado (2023, p.54) manifiesta que

...el ser humano se ha situado a sí mismo por fuera y por encima de la naturaleza, y ha reducido a la naturaleza a ser simplemente un medio, un recurso, para los fines, intereses, deseos y necesidades de los seres humanos.

3.1.2 EMANUELE COCCIA

Coccia (2023a) habla de las interconexiones de la vida. El autor refiere que la vida es una sola y que todos de alguna manera compartimos esa vida que refleja tanto el pasado, el presente y el futuro. Visto desde esta perspectiva todos somos cuerpos, carnes que

se comparten, se intercambian, se reencarnan, se transforman por lo que la vida no se contiene en un individuo sino que presenta múltiples identidades. Esta es una propuesta compartida por Giraldo y Toro (2020). Ahora bien entender que la vida está conformada por una trama de relaciones que al final se reduce a energía, información y sentido, no implica devaluar el papel que cumple el cuerpo humano pues la colonialidad no sólo es un fenómeno político y económico sobre territorios sino que también se extiende a los conocimientos, a la naturaleza y a los cuerpos (Quijano, 2010; Ríos, 2022).

Toda forma de vida exige que haya vida ya en el mundo (Coccia, 2017, p.20). En buena cuenta todos tenemos la edad de la vida, la edad del universo. Es por ello, coincidiendo con Maldonado, ya no es posible diferenciar lo animado de lo inanimado, la vida de lo no vida, la vida de la muerte, lo orgánico de lo inorgánico. No hay especies, no hay esencialismos ni identidades posibles por lo que prima son las multiplicidades.

La percepción es una propiedad de la materia. Todos tenemos subjetividad por la materia. Cada ser vivo tiene su propia percepción del mundo. La agencia de los seres vivos es la agencia de la Tierra (Larrión, 2019; Coccia, 2023, 2021b, 2021d, 2018, 2016). Como Explica Latour (1999) la capacidad de agencia no es exclusiva del ser humano.

Si se tiene presente que la vida es única entonces no existe una biodiversidad exterior y distante del ser que se reconoce como humano. Los humanos forman parte de la biodiversidad y sus propias vidas van cargadas de biodiversidad (Coccia, 2021c). Una manifestación, apenas superficial es el hecho que el ser humano es un holobionte, es decir una vida que es posible por las alianzas solidarias entre diversas vidas en lo que las que se mezclan los humanos, las bacterias, los virus, entre otros, para hacer posible la vida humana (Maldonado, 2020b). Pero también por el hecho que se comparte genes con animales y plantas, aunque claro está en distintas proporciones. Pero más allá, todos son hijos de Gaia, incluso del cosmos.

Las plantas son las que hacen posible el mundo para los demás seres vivos incluyendo el ser humano. Las plantas son las que hacen habitable y viable el mundo que habitamos todos los seres vivos. No se trata únicamente que las plantas se adaptan al medio sino que, fundamentalmente, las plantas producen el medio y por tanto son diseñadoras y productoras del planeta. Las plantas nunca dejan de desarrollarse. Lo que produce la planta se transmite y se transforma en otras vidas temporales y en su conjunto constituyen la unicidad de la vida (Coccia, 2017, 2023b).

3.1.3 MICHAEL MARDER

Marder por su parte coincide con los filósofos anteriores que las plantas son inteligentes y sensibles por lo que tenemos que revisar nuestra relación actual con los bosques que se reduce a considerarlo como materia prima o capital natural. Ahora bien Marder (2021a)

prefiere hablar de pensamiento vegetal antes que inteligencia vegetal. Esta inteligencia se caracteriza por ser no-cognitivo, no-ideacional, no imacionista y funciona mediante la articulación entre intención y extensión o movimiento de las plantas. Es lo que Castro (2011) denomina “cognitismo mínimo”. Desde una perspectiva de cognición corporeizada se puede afirmar que las plantas “piensan con todo el cuerpo” (Osorio, 2018). La inteligencia de las plantas es motivo de estudio de la Neurobiología Vegetal, denominación que no genera consenso.

Está demostrado que las plantas tienen capacidad de anticipación, pueden aprender y almacenan temporalmente los recuerdos para tomar decisiones de importancia adaptativa. Según Latour, como es citado en Larrión (2019, p. 334) la agencia, es decir, “la capacidad para actuar y contribuir a generar/transformar situaciones o acontecimientos también se manifiesta en la clorofila de las plantas que hacen las veces de actantes”. Según Brice, como es citado en Durand (2022, p.115) “la agencia vegetal proviene no de la autonomía sino de las conexiones que la materialidad de las plantas produce en otros seres y elementos como el agua, la luz o el suelo y que los incita a actuar de forma diferente”

Marder, coincidiendo con Coccia, insiste en que la vida es una sola. Decir que la vida es una sola no se refiere a la temporalidad del individuo sino que la vida pertenece a todos y que la vida resume las interacciones pasadas, presentes y futuras. Al decir que la vida es una sola señala que en realidad todos somos producto de las transformaciones permanentes que adoptamos determinadas formas temporales que además están entrelazadas (Marder 2021b). Ahora bien estas interrelaciones no sólo son conexiones sino diálogo a veces con lenguajes fluidos, otras veces con silencios o ausencias. Esto nos hace recordar al relato del filósofo chino Chuang Ztu del Siglo IV antes de Cristo que soñó que era una mariposa pero que al despertar no sabía si era un ser humano que soñó con ser una mariposa o una mariposa que soñaba ser humano. Para Espinoza, Dios, sustancia y naturaleza eran equivalentes y por tanto es importante cuidar la naturaleza que es otra forma de expresar su sacralidad.

Al igual que Simard (2021) y Coccia (2018), Marder pone en evidencia que nos somos consciente de la estructura rizomática. Los árboles están fuertemente conectados por sus raíces forman una comunidad supraindividual tanto en sentido horizontal como vertical (Marder, 2020, 2021a). Esta aseveración también es aplicable al mundo forestal que generalmente piensan los bosques fundamentalmente solo como vuelo forestal.

La comunicación entre las plantas se da a través de sistemas complejos de transmisión de información: señales químicas (hormonas) y señales eléctricas (potenciales de acción) para coordinar las distintas partes de su cuerpo (Onwuasoanya, 2016). Adicionalmente estudios han demostrado que muchas plantas tienen la capacidad de emitir sonidos ultrasónicos para comunicar el estrés (Yáng, 2023). Según Kennedy (1992) las plantas manifiestan una retórica de carácter propositivo e inconsciente. La comunicación entre las especies es motivo de estudio de la Biosemiótica (Romero, 2020).

Marder (2021a) señala que para segar la vida del otro, primero tenemos que segarlo en nuestro interior. Otra forma de expresar esto alude al proceso de colonización pues para colonizar primero hay que colonizarse a sí mismo, es decir justificarse racionalmente como proceso y acción válida y legítima. Marder explica que esta es la base con la que posteriormente se exterminan los bosques. Esta postura es similar a la que plantean Giraldo y Toro (2020) quienes señalan que primero tenemos que distanciarnos física y emocionalmente de la naturaleza para luego impactarla sin temor ni remordimiento

Marder también señala el sentido comunitario de las plantas como punto de referencia para la ecologización de la conciencia humana (Marder, 2014). Marder (2021a) menciona que reconocer a las plantas como el otro válido es reconocer la vegetalidad que está dentro de nosotros.

3.2 APLICACIÓN DE LOS APORTES FILOSÓFICOS AL SECTOR FORESTAL

Los aportes alcanzados por los filósofos tienen una implicancia trascendental para las Ciencias Forestales que hasta ahora sigue hablando de recursos forestales como bienes o capital natural que deben ser incorporados a la economía y el mercado como contribución al crecimiento económico y el desarrollo sostenible. Por tanto no es que el forestal esté frente a una fuente de materia prima para la industria forestal sino que está frente a la vida misma, que además es una sola como ya lo han reiterado los filósofos estudiados. Es por ello que la relación con la vida por parte de los forestales es muy débil. El planteamiento de Coccia es fundamental para entender por qué no se puede reducir a los bosques únicamente a recursos forestales porque todos somos Gaia, todos somos bosque.

Tomando en cuenta el pensamiento de Coccia se puede afirmar que mientras los forestales miran generalmente, del suelo para arriba, o a lo máximo la capa fértil del suelo, existe la necesidad de mirar la verticalidad en toda su plenitud para ver el árbol en su integridad vital tanto del mundo aéreo, mundo subterráneo y el mundo cósmico al que las plantas se conectan a través de la fotosíntesis.

En este contexto el rol del suelo como interfase es fundamental (Ingold, 2018). Las raíces funcionan como una especie de cerebro de las plantas y son las que hacen las permiten la conexión entre la tierra y el aire, el suelo y el cielo (Coccia, 2017, p.97). Aunque los forestales son conscientes de las raíces no pasan de asumir su valor como soporte y de nutrición a los árboles.

Aunque el tema de la comunicación de las plantas ya está más difundido y se conoce la importancia del sistema radicular asociado con los hongos como sistema colaborativo que hace las veces de internet en el bosque, tal como lo sustenta Simard (2021a, 2021b) esto no forma parte de las preocupaciones actuales cuando se interviene sobre los bosques o por lo menos no se pone de manifiesto en la silvicultura. Bajo esta perspectiva las técnicas

de impacto reducido, que solo está pensado en términos del suelo para arriba, no son suficientes.

Mientras los forestales reducen su mirada inicial a la horizontalidad limitada a los diámetros de los árboles y posteriormente al área basal (sumatoria de las superficies de todos los árboles en una superficie dada de manejo), existe la necesidad de abrir la mirada radialmente en todas las direcciones hasta alcanzar la dimensión cósmica, por el importante papel que desempeña la fotosíntesis en la conexión cósmica. Esta amplitud de mirada, tiene sentido en tanto, el bosque es mucho más que madera, para mirar la vida que se manifiesta en el bosque de múltiples maneras (Arce, 2022).

Mientras los forestales hablan de manejo forestal no reconocen que en realidad es la planta la que transforma su medio para hacer posible su vida pero también para hacer posible de la vida de todos incluyendo la del ser humano al que está estrechamente interrelacionado. Así la inmersión mutua es una de las características de la vida (Coccia, 2017). Mientras los forestales consideran que las plantas forman parte del reino vegetal las plantas no se diferencian del ambiente porque forman parte de la trama de la vida de un ambiente totalizador en el que se incluye al ser humano (Coccia, 2017). Los seres humanos habitan la Tierra pero también son habitados por ella.

La taxonomía obedece a la incesante necesidad humana del control y el dominio (Marzec, 2019). Mientras que los forestales consideran que las plantas se agrupan según la taxonomía vegetal, no hay especies ni identidades fijas pues somos interespecies, ecosistemas y paisajes compartidos. Martín (2019) problematiza el concepto de especie y señala que a la luz de la síntesis de la teoría de la evolución sería más apropiado reconocer un pluralismo taxonómico o un pluralismo ontológico. Ahora bien, eso no significa desconocer la importancia de la taxonomía y del propio concepto especie que implica reconocer la capacidad de dejar descendencia, aunque no se agota en esta dimensión. Asimismo el concepto de especie es de fundamental importancia para comprender la complejidad de los bosques y sus aplicaciones prácticas en las políticas y prácticas de conservación de ecosistemas forestales, el manejo forestal, la industria forestal, la política y la economía (Marcos, 2010; Folguera y Marcos, 2013). Así una actitud relajada frente a la identificación botánica de las plantas tiene consecuencias negativas en la gestión ecológica de los bosques.

Mientras los forestales ven a las semillas como material para la reproducción sexual, las semillas no son sino una de las formas en las que aparece la vida, que permiten no sólo la emergencia de una vida particular sino de la vida del tejido de la realidad. Para existir la planta tiene que confundirse con el mundo y esto lo hace a través de la semilla (Coccia, 2017, p.25). Las semillas son generatrices pero también son alimento de otros y forman parte de las múltiples transformaciones en el bosque. Adicionalmente se tiene que reconocer la capacidad de agencia de las semillas que deciden en el momento más oportuno para germinar.

Las plantas son puestas de relieve por la belleza de las flores o por la magnificencia de los troncos y no se ha puesto la suficiente atención al rol de las hojas que son fundamentales para la vida no sólo de las propias plantas sino también de otras vidas (Coccia 2017, p.39). Las hojas a través de la fotosíntesis han creado la atmósfera con la que recrean una relación recíproca con ella. Esta es una demostración de profunda inmersión con el mundo (Coccia, 2017, p.51).

3.3 IMPLICANCIAS DE ESTOS APORTES FILOSÓFICOS A LOS ENFOQUES Y PRÁCTICAS DEL SECTOR FORESTAL

Si se asume la perspectiva evolutiva se puede recuperar el hecho que los homínidos como arborícolas vivían en los árboles. Consecuentemente la evolución de la estructura anatómica fue moldeada por la vida en los árboles (Coccia, 2021c) lo que quiere decir que los humanos en parte son hechura de los árboles. Posteriormente los homínidos bajaron del árbol y luego como humanos tumbaron árboles para abastecerse de materiales de construcción y de energía. Aunque con la silvicultura se pretende regenerar los bosques no siempre se es efectivo. Por ello ha llegado la hora que los árboles, metafóricamente hablando, se vuelvan a subir a los corazones de los humanos. Pero antes de seguir hay que cuestionar la categoría “humanos”. Puesto que hablar de humanos y no humanos reproduce la ontología antropocéntrica, Rozzi ha propuesto categoría “el otro-que-humano para referirse al conjunto de elementos que conforman la vida lo que incluye lo llamado orgánico e inorgánico (Rozzi, 2018a, 2018b; Álvarez et al., 2023). De manera equivalente es lo que de la Cadena llama seres Tierra (De la Cadena et al., 2018; de la Cadena, 2020). Esto forma parte del descentramiento del antropocentrismo de las ciencias sociales que ha llevado a la Etnografía multiespecies incluyendo plantas (Granelli, 2023, McEwan, 2023, Miller, 2019; Kohn, 2013; Latour, 1993; Haraway, 2008; Kirksey & Helmreich, 2010).

Los filósofos han puesto de manifiesto que no hay vidas separadas en ningún tipo de categorías porque al final la vida es una sola y en ella están incluidos animales, plantas, microorganismos e incluso la mineralidad el cual todos comparten (Coccia, 2017, 2018, 2021a, 2021b, 2021c, 2023a, 2023b, y 2023c; Marder 2013, 2014, 2016, 2021a, 2021b). Como señala Ferreyra (2017) el hombre no es en sí mismo la totalidad del absoluto. En esta misma dirección Díaz (2020, p.111) tomando como base la ontología relacional de Escobar señala:

...los ecosistemas inter-existen, las plantas necesitan de la luz solar, ellas proveen oxígeno a los animales y humanos, a su vez, se proporciona el dióxido de carbono necesario para las plantas, ellas también necesitan de agua y alimento igual que los animales; todo inter-existe.

Esta constatación es fundamental porque se ha normalizado el hecho de sentirse separados de los bosques que han quedado reducido a recursos forestales. Es lo que Skewes et al. (2020) llaman ruptura ontológica y que niega los derechos de la naturaleza. Como se puede

apreciar no es cuestión solo de términos sino que conlleva un sentido profundo de lo que el ser humano es y el papel que tiene en la naturaleza y el cosmos. Finalmente todos los seres vivos son naturaleza, todos son bosque de alguna manera y tiempo, y las vidas que florecen no son sino expresión de la permanente transformación de vidas. Es por eso que Echazú y Flores (2018, p.49) considerando los diversos vínculos multidimensionales, diversos y plurales en el relacionamiento entre bosques y las personas plantean el reconocimiento de los derechos de las plantas. Consecuentemente, en perspectiva biocultural es legítimo hablar de bienestar humano y bienestar de los ecosistemas. Hay que advertir que hablar de felicidad de las plantas implica “estado fisiológico óptimo” y no hace alusión a una perspectiva antropomórfica (Chamovitz 2019, p.200).

Es pretensión humana de dominar a la naturaleza para su servicio y por ello se dice que se hace manejo forestal. Es aquí cuando se puede entender claramente que manejo tiene una connotación de someter, de gobernar para que puedan satisfacer las necesidades humanas. En el fondo lo que busca con la simplificación de los bosques naturales y su domesticación es quitarle o modificar atributos para reconducirlos hacia los intereses humanos. Pero esta actitud lleva a una serie de situaciones. Son los humanos i) Los que deciden quién importa o no importa, ii) Quién debe vivir y quién debe morir, iii) Quién es deseable (especies útiles) y quién es descartable, iv) Son los humanos los que configuran el contenido y sentido de la biodiversidad (Coccia, 2017). Como afirman Grego et al. (2018, p.147) “ La empatía con las especies suele disminuir hacia especies no carismáticas y taxonómicamente menos emparentadas con los humanos, tales como insectos y plantas herbáceas o no vasculares”. Todas estas consideraciones son importantes tomar en cuenta en el manejo forestal, o mejor dicho en lo que podría denominarse convivencia forestal.

Como sociedad fuertemente dominada por el sistema político-económico capitalista neoliberal se ha exacerbado el valor del individuo. En sentido estricto todas las expresiones de vida son producto de la colaboración y la simbiosis que es una de las características de la vida. Ello no desconoce por supuesto el fenómeno de la competencia y la depredación. Como afirman Harari y Žižek (2022) la naturaleza no alude únicamente a equilibrios homeostáticos pues también presenta sistemas caóticos, estocásticos y autopoieticos. No obstante, habría que recuperar el sentido de vida compartida en la que la muerte de unos hace posible la vida de otros por el eterno intercambio. Pero una cosa es la metamorfosis permanente de la diversidad de la vida y otra cosa es simplemente una cultura de muerte en el sentido de la arrogancia de la supremacía humana. Se sabe ahora que la vida y la no vida van juntas y que cada día se va muriendo de a pocos y transformándose para dar posibilidad a las múltiples manifestaciones de vida. Paradójicamente nunca se muere del todo porque se va reviviendo bajo diferentes cuerpos y dando continuidad a la vida bajo múltiples manifestaciones.

Los aportes de los filósofos estudiados son muy pertinentes y se confirman con los aportes de otros como Francisco Calvo y Heidegger. El caso de Calvo es especial por cuanto siendo filósofo sus investigaciones experimentales tienen carácter científico. Calvo (2022)

advierte que reconocer la conciencia o la sensibilidad de las plantas es problemático, si eso ya genera problemas en el relacionamiento con el mundo animal, por lo menos con los sintientes, sería mucho más complicado lidiar con plantas con sensibilidad por las repercusiones que tiene en la relación entre humanos y plantas. Para Coccia (2023c) el problema actual no es reconocer si las plantas tienen inteligencia o no si no cómo nos relacionamos en tanto hablar de inteligencia es habla de la vida misma.

Muchas formas de vida exhiben inteligencia mínima, agencia funcional, sensibilidad en algún grado, y podría haber niveles básicos de conciencia en organismos relativamente complejos; existe evidencia de que estos atributos se distribuyen en un continuo, con diferencias cualitativas y cuantitativas entre organismos. Segundo & Calvo (2021) y Calvo et al. (2020) han estudiado la posible conciencia de las plantas.

De otro lado, rastreando el pensamiento filosófico de los filósofos estudiados encontramos que Heidegger ha sido importante para la conformación del pensamiento ecológico con aplicaciones en el campo forestal. Heidegger cuestionaba el hecho de reducir a la naturaleza como proveedora de recursos y el predominio de la técnica (Heidegger, 1997a). Este es uno de los fundamentos por los cuales hablar de recursos forestales es limitado, antropocéntrico y mercantilista. De otro lado, el ser ahí significa reconocer la vida en el ser que compartimos cada una de las expresiones de la vida (Heidegger, 1997a). Es pensar desde la vida y hacia la vida (Heidegger, 1997b). Desde el punto de vista Heideggeriano el ser humano, la naturaleza y las divinidades interactúan (1997b). Esta interconexión de la red de la vida ya había sido advertida por Goethe y Humboldt (Wulf, 2017). Aquí confluyen diversas perspectivas como la del conatus de Espinoza o la autopoiesis de Maturana y Varela en la que la autoorganización es la fuerza vital (Cheguhem, 2021).

Desplegar la ética ambiental o ecológica es de suma importancia pero coincidiendo con Tim Ingold y Donna Haraway es importante llevar la discusión a un nivel ontológico en el que se revise la posición humana frente a los otros-que-humanos (Fagioli, 2022).

4. DISCUSIONES

De los aportes de los filósofos estudiados resalta el hecho del reconocimiento que la vida es una sola y que está interrelacionada a través de una permanente transformación. Las plantas no sólo se adaptan al medio sino que son transformadoras y modeladoras de vida. Las plantas han hecho y hacen posible que existan otras vidas.

Hasta ahora el mundo vegetal ha sido subestimado no obstante su rol fundamental como hacedores y modeladores de vida. Los hemos tratado como fantasmas como señala Marder (2021b) visibilizados convenientemente según los intereses. No es sino en los últimos años en los que se ha recuperado la preocupación por las plantas, aunque el tema no es nuevo (Palau y Verdera, 1778; Gamboa, 2016; Villagrán y Squizzato, 2017; Lavernia, 2020), y los

aportes inicialmente desde la ciencia y posteriormente desde la Filosofía de la vida vegetal han sido esenciales para este giro vegetal. Hasta ahora esta vertiente está más desarrollada en los países del norte que en los países Latinoamericanos cuya preocupación se centra fundamentalmente en cómo hacer mejor aprovechamiento (“sostenible”, “responsable”) de los bosques y su conservación (como reservorio de “recursos genéticos”). Ahora bien, esto es desde una perspectiva más occidental, porque es posible encontrar en la Filosofía andina-amazónica, o la Pachasofía, una filosofía oral que da cuenta de las relaciones ontológicas entre los seres humanos y la naturaleza incluyendo la comunicación con las plantas, especialmente a través del papel de los mediadores espirituales (Sobrevilla, 2008; Favaron y Gonzáles, 2019; Favaron y Bensho, 2025). Estas propuestas son profundizadas por autores como Blaser y Rodríguez (2022), de la Cadena (2020), Descola (2011), Escobar (2011), entre otros.

El universo de prácticas y de sentido forestal aún está estancado en verse como abastecedores efectivos de materias primas y su aporte al crecimiento económico de los respectivos países. De ahí la recurrente posición que para que los bosques sean conservados hay que “ponerlos en valor” y para ello se requiere la valorización económica de los bienes y servicios ecosistémicos. Es una valoración económica y no tanto del valor intrínseco de la vida (Arce, 2023).

Existen varias dimensiones de los aportes de la Filosofía de la vida vegetal. Una de ellas refiere al hecho que ya no es sostenible mantener una perspectiva exclusivamente disciplinaria y que abrirse a otros campos del conocimiento, propios de lo que hasta ahora se llama Ciencias Sociales y Humanidades, es muy enriquecedor. Es por ello la necesidad del sector forestal de una mayor apertura hacia perspectivas interdisciplinarias, transdisciplinarias e incluso indisciplinarias o antidisciplinarias. Esta actitud abre el panorama del conocimiento significativamente. No obstante, ello no implica la renuncia total de la disciplinariedad o de la especialización. El mensaje central es que la disciplinariedad es importante pero no es suficiente y como gremio es importante asumir esta perspectiva más globalizadora. Seguramente habrá muchos que quieran trabajar en perspectiva disciplinaria y es legítima. Lo importante es darse cuenta que el aporte especializado debe darse en el marco de una perspectiva mayor.

Una apertura a la Filosofía enriquece sustancialmente al sector forestal porque le dota de nuevos paradigmas, pensamientos, emociones, lenguaje, actitudes, éticas y estéticas. La Filosofía de la vida vegetal aporta en comprender que la perspectiva antropocéntrica y mercantilista es absolutamente insuficiente para lograr una mejor relación con la naturaleza en general y con los bosques en específico. Ahora bien, esto usando las categorías actuales, porque lo se ha aprendido es que las diferencias entre ciencias naturales y ciencias sociales, entre naturaleza y cultura, entre otras categorías dicotómicas, son artificiales y que existe la necesidad de apreciar la realidad de manera integral e interrelacionada (Durand, 2023).

La Filosofía de la vida vegetal permite reconocer a las plantas, como una de las manifestaciones específicas de la vida interrelacionada, son seres vivos maravillosos con capacidades de conciencia, inteligencia y sensibilidad tal como corresponde a las plantas. Si la conciencia se reduce a alguna forma de adaptación biológica Segundo y Calvo (2020, p.1) consideran que no se debería descartar que las plantas hayan desarrollado su propia experiencia fenoménica del mundo. El hecho que estas manifestaciones no se den en sentido antropológico o antropomórfico no reduce un ápice su importancia y valoración en la trama de la vida compartida. La evolución ha generado diferentes formas de organizar la vida y que además son intercambiables en el tiempo y el espacio.

Queda claro que los bosques no sólo son madera y tampoco su valoración radica en términos utilitarios sino por sus valores intrínsecos por el hecho de existir (Arce, 2022). Ahora bien, los bosques recorren la historia del proceso de hominización y de la propia humanidad. Gracias al aprovechamiento forestal y la madera tenemos historia y cultura (Resco, 2024). Incluso aún en una perspectiva utilitaria, debemos reconocer que estamos perfectamente interrelacionados con ellos a partir de los ciclos biogeoquímicos del oxígeno, del carbono y del agua. Siendo la vida una sola, se reconoce el hecho que las diferentes manifestaciones de humanidad, vegetalidad y mineralidad no son sino expresiones temporales de la vida puesto que hay procesos de mixtura permanente que hacen posible la vida. No hay tal distancia, física y afectiva, entre los seres humanos y los bosques.

Cualquier forma de relacionamiento con las plantas pasa por reconocer en primer lugar que la vida es una sola y que toda vida importa. El bosque no es sólo la despensa de madera para la industria forestal sino que es una expresión de vida. Consecuentemente se requiere desarrollar una bioética forestal para un relacionamiento respetuoso. Ello no quita la posibilidad del aprovechamiento forestal sino que debe realizarse en un marco de respeto y con el menor impacto posible.

Es importante tener presente que la tala selectiva en bosques naturales no es suficiente porque se está pensando únicamente en la parte aérea del bosque, en individuos aislados, y no se considera la red de interrelaciones que se dan a nivel radicular pero tienen repercusión en la comunidad arbórea que entrelaza la totalidad del ecosistema en el nivel subterráneo y en el nivel aéreo. Es necesario tomar en cuenta el rol que cumplen los árboles madre en el bienestar de la comunidad ecosistémica. Estos elementos son centrales al momento de seleccionar los árboles que se extraerán, los métodos de aprovechamiento que deberán ser lo menos intrusivos y con el menor daño posible. Asimismo, tienen que ver en consideraciones silviculturales que garanticen la calidad genética de los rodales. Para ello se requiere ciencia que soporte estas prácticas, pero sobre todo, un nivel de reconocimiento que ya no sólo se está frente a materia prima para la industria forestal, sino que se está frente a la vida de la cual todos formamos parte. Es por ello que la mejor alternativa sería que los bosques naturales se destinen para el aprovechamiento sostenible de bosques en pie guardando los mismos criterios de cuidado y de respeto. En el Perú ya existen valiosas iniciativas que van en esa dirección. Lo que habría que cuidar es que no vuelvan a caer en

una lógica rentista y depredadora y más bien adoptar enfoques de economías sociales, solidarias y ecológicas.

Como la madera es necesaria entonces fundamentalmente debería provenir de plantaciones forestales mixtos, con un adecuado diseño espacial y ecológico que cumplan los criterios de no afectación a la biodiversidad nativa, nunca a expensas de bosques naturales, que no afecten las cuencas hidrológicas y que no afecten los derechos de las comunidades locales y de los trabajadores forestales.

La Filosofía de la vida vegetal nos ha permitido entender que la vida es una sola y que todas las vidas están entrelazadas, además que todos formamos parte de Gaia. Por ello es de fundamental importancia que el sector forestal no se constituya un factor de degradación de bosques y pérdida de la biodiversidad, que tampoco afecte los ciclos hidrológicos. Eso implica reconocer en su real dimensión el rol de la vegetación en el aporte de agua a los ríos voladores. Es por ello que la mirada concentrada sólo en el tronco específico de valor comercial es absolutamente limitada. No solo necesitamos superar una visión del bosque como cosa sino también trascender la visión de espécimen, de materia prima o de recurso de información y estadísticas económicas.

Frente a la crisis civilizatoria y el estado de emergencia en el que se encuentra el planeta por el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, el cambio de uso de la tierra y la deforestación, el inminente punto de no retorno de la Amazonía, la afectación de los ríos voladores, entre otros problemas relacionados con los bosques se requiere revisar la relación que hasta ahora hemos sostenido con los bosques. Las pandemias asociadas al deterioro, fragmentación y degradación de ecosistemas apenas son un aviso de la mala relación con los bosques dominada por una visión antropocéntrica y mercantilista. Más que un manejo forestal lo que se requiere es desarrollar relaciones de convivencia forestal basado en reconocimiento del valor intrínseco de la vida en los bosques, una bioética forestal y una ética biocultural que reconozca la importancia de trabajar en sentido del bienestar humano y el bienestar de los bosques entendiendo que forman la unidad de la Tierra.

Ahora bien, es importante reconocer que la institucionalidad internacional y nacional, incluyendo los propios ciudadanos, se relaciona con los bosques en términos de recursos forestales. Esta lógica se inscribe en el marco del biopoder foucaultiano (ecopoder) mediante el cual el poder del Estado decide quién vive y cómo se vive (Güitrón, 2020). Consecuentemente los planteamientos aquí presentados son disruptivos para el sector forestal. Aunque en el sector forestal hay apuestas por una relación más responsable con los bosques, por ejemplo a partir de la certificación forestal voluntaria, no son suficientes. Un enfoque más radical apunta a desarrollar una relación de convivencia con los bosques, tanto por interés humano directo en términos de su propio bienestar, como por el respeto a todas las manifestaciones de vida en los bosques. Ello tiene implicancias prácticas como hacer manejo forestal con fuerte respaldo científico y orientarse más bien al abastecimiento

de madera a partir de plantaciones forestales bajo principios de sustentabilidad y de bioética forestal.

5. CONCLUSIONES

La Filosofía de la vida vegetal abre la perspectiva forestal de manera significativa y transformadora porque aporta a la revisión de los marcos epistemológicos (teóricos y metodológicos) y los marcos ontológicos con los que hasta ahora el sector forestal ha venido aplicando en Latinoamérica, y en el mundo. La Filosofía de la vida vegetal invita a repensar el rol asignado a los bosques fundamentalmente como abastecedores de materias primas y servicios en perspectiva mercantilista e invita a pensar los bosques como una de las manifestaciones de la vida que es único y al cual todos estamos entrelazados. Los aportes de la Filosofía de la vida vegetal, basados en ciencia, permiten afirmar que existe un nivel de conciencia, inteligencia y sensibilidad, propias de las plantas, que es necesario tomar en cuenta al momento de definir la relación con los bosques.

REFERENCIAS

- Álvarez, R., Araos, F., Núñez, D., Skewes, J., Hurtado, A., & Rozzi, R. (2023). Otros-que-humanos: Tensiones ontológicas en la implementación de la ley la-fkenche. *Cultura - Hombre - Sociedad*, 17(1), 1–26. <https://www.scielo.cl/pdf/cu-hsotem/2023nahead/2452-610X-cuhso-tem-00101.pdf>
- Arce, R. (2018) (2018, 16 de febrero). Aportes para el estudio de la filosofía forestal desde la praxis peruana. SERVINDI. <https://www.servindi.org/actualidad-opinion/15/02/2018/aportes-para-el-estudio-de-la-filosofia-forestal-desde-la-praxis>
- Arce, R. (2019) (2019). Aproximaciones a la filosofía forestal de la sustentabilidad del manejo forestal en el Perú. *Revista Forestal del Perú*, 34(2), 113–131. <https://doi.org/10.21704/rfp.v34i2.1322>
- Arce, R. (2020a) (2020a, 2 de setiembre). ¿Por qué necesitamos pensar el mundo desde los bosques? SERVINDI. <https://www.servindi.org/actualidad-opinion/02/09/2020/contribuciones-para-una-filosofia-forestal>
- Arce, R. (2020b) (2020b). La indisciplina-riedad como enfoque en la construcción del conocimiento. *Horizontes y Raíces*, 8(1), 32–43. https://www.academia.edu/79804995/LA_INDISCIPLINARIEDAD_EN_LA_CONSTRUCCION_DEL_CONOCIMIENTO
- Arce, R. (2022) (2022). Bosques: Más allá de la madera. *Revista Forestal del Perú*, 37(1), 4–20. <https://doi.org/10.21704/rfp.v37i1.1590>
- Arce, R. (2023b) (2023b). Los profesionales forestales y la inteligencia vegetal. *Naturaleza y Sociedad*, 7. <https://doi.org/10.53010/nys7.07>
- Arce, R. (2023c). Críticas a la conservación de la naturaleza y la necesidad de su resignificación a la luz de los derechos bioculturales. *Biotempo*, 20(1), 117–132. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v20i1.5570>
- Arce, R., & Yábar, G. (2023a). (2023a). La forestería y su relación con el otro-que-humano. *Revista Kawsaypacha*, 12(A-002), 1–25. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202302.A002>
- Ares, R. (2019). La conducta de las plantas: Eto- logía botánica. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. <https://www.fundacionazara.org.ar/img/libros/la-conducta-de-las-plantas.pdf>
- Blaser, M., & Rodríguez, M. (2022). Desde la ra- cionalidad cosmopolita a la ontología política y la cosmopolítica diálogo con mario blaser en el aniversario de la revista runa. *Runa*, 43(3), 545–558. <https://doi.org/10.34096/runa.v43i3.10285>
- Brice, J. (2014). Attending to grape vines: Per- ceptual practices, plant agencies and multiple temporalities in australina viticulture. *Social and Cultural Geography*, 15(8), 942–965. <https://doi.org/10.1080/14649365.2014.883637>
- Calvo, F., & Lawrence, N. (2022). *Planta sa- piens: Unmasking plant intelligence*. Bridge Street Press.
- Calvo, P. (2016). The philosophy of plant neu- robiolgy: A manifestó. *Synthese*, 193, 1323– 1343.
- Calvo, P., & Keijzer, F. A. (2009). *Cognition in*

- plants. En F. Baluška (Ed.), [Título del libro/Fuente missing] (pp. 247–266). [Editorial/Publicador Missing]. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89230-4_13
- Calvo, P., & Keijzer, F. A. (2011). Plants: Adaptive behavior, root-brains, and minimal cognition. *Adaptive Behavior*, 19, 155–171.
 - Calvo, P., & Lawrence, N. (2023). Planta sapiens: Descubre la inteligencia secreta de las plantas. Seix Barral.
 - Calvo, P., Baluška, F., & Trewavas, A. (2020a). Integrated information as a possible basis for plant consciousness. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 564, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.09.098>
 - Calvo, P., Gagliano, M., Souza, G. M., & Trewavas, A. (2020b). Plants are intelligent, and here is how. *Annals of Botany*, 125, 11–28. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz155>
 - Castro, O. (2011). La biosemiótica y la biología cognitiva en organismos sin sistema nervioso. *Ludus Vitalis*, 1–30. https://www.researchgate.net/publication/230622013_La_biosemiota_y_la_biologia_cognitiva_en_organismos_sin_sistema_nervioso
 - Cavada, D. (2004). Las ciencias naturales y las ciencias sociales: Un debate sobre su acercamiento interparadigmático (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Repositorio institucional. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/106411/Las-ciencias-naturales.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
 - Chamovitz, D. (2019). Lo que las plantas saben. Editorial Ariel.
 - Cheguhem, M. (2021). Poética de plantas. *Interacciones entre literatura y ciencias de la vida. Relaciones Revista al tema del hombre*, 44(1), 24–25. https://www.researchgate.net/publication/348807777_Poetica_de_plantas
 - Coccia, E. (2016). *La vie des plantes: Une métaphysique du mélange*. Payot & Rivages.
 - Coccia, E. (2017). *La vida de las plantas*. Miño y Dávila.
 - Coccia, E. (2018). *Métamorphoses*. Payot & Rivages.
 - Coccia, E. (2021a). *Metamorfosis*. Solo hay una vida en la tierra [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=yiCi-OyVibU>
 - Coccia, E. (2021b). *El jardín del mundo* [Archivo de video]. YouTube. <https://youtu.be/mxT-QjBwuZRA>
 - Coccia, E. (2021c). *Noche de las ideas 2021 | « Cercanos », un planeta (en) vivo en madrid* [Archivo de video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=mZ_dldkvgGO
 - Coccia, E. (2021d). *La vida de las plantas: Una metafísica de la mixtura* (I. Arratibel, Trad.). Editorial Cactus. (Obra original publicada en 2016).
 - Coccia, E. (2023a). Emanuele coccia | Interconexiones de la vida | congreso futuro 2023 [Archivo de video]. YouTube. <https://youtu.be/7mTHcj6HHXE>
 - Coccia, E. (2023b). *Mesa redonda: ¿Más diseño en un planeta dañado?* [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=COLw06FDJdE>

REFERENCIAS

- Coccia, E. (2023c). Conversatorio. Emanuele coccia. Inteligencias más que artificiales [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6y3G6zRHmvk>
- Coccia, E. (2023d). *Metamorfosis* (R. Narvaja, Trad.). Editorial Cactus. (Obra original publicada en 2018).
- De la Cadena, M.. Cosmopolítica indígena en los Andes: Reflexiones conceptuales más allá de la política. *Tabula Rasa*, 33, 273–311. <https://doi.org/10.25058/20112742.n33.10>
- Descola, P.. Más allá de la naturaleza y la cultura. En L. Montenegro (Ed.), *Cultura y naturaleza* (pp. 75–98). Jardín Botánico de Bogotá, José Celestino Mutis. https://www.academia.edu/34854149/Epistemolog%C3%ADas_de_la_naturaleza_y_colonialidad_Arturo_Escobar
- Díaz, D. A.. (2020). Del giro ontológico a la ontología relacional y política, una mirada a la propuesta de arturo escobar. *Cuadernos de Filosofía Latinoamericana*, 41(123), 99–122. <https://doi.org/10.15332/25005375/5991>
- Durand, L.. Etnografía vegetal [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=cRWHR9KwOGk>
- Echazú, A. G., & Flores, M. E. (2018). Derechos de las plantas en contexto: Dos ontologías latinoamericanas. *Revista Cultura y Droga*, 23(26), 49–66. <https://doi.org/10.17151/culdr.2018.23.26.4>
- Escobar, A. (2011). Epistemologías de la naturaleza y colonialidad de la naturaleza. Variedades de realismo y constructivismo. En L. Montenegro (Ed.), *Cultura y naturaleza* (pp. 49–74). Jardín Botánico de Bogotá, José Celestino Mutis. https://www.academia.edu/34854149/Epistemolog%C3%ADas_de_la_naturaleza_y_colonialidad_Arturo_Escobar
- Fagioli, N. L.. Notas para una nueva filosofía de la tierra. Entre la ética y la ontología. *Mediações*, 27(2), 1–13. <https://doi.org/10.5433/2176-6665.2022v27n2e45048>
- Favarón, P., & Bensho, S. (2025). The Cosmopoetics of Plants:
- A Dialogue Between Shipibo-Konibo Botanical Knowledge, Ecology, and Science. *Ecozon@*, 16(2), 160–174. DOI: <https://doi.org/10.37536/ECOZONA.2025.16.2.5948>
- Favarón, P., & Gonzáles, A.. (2019). Non rao nete (nuestro mundo medicinal): La medicina visionaria del pueblo shipibo y su relación con los seres vivos. *Diálogo*, 22(1), 19–28.
- Ferreyra, J. (2017). Hegel y deleuze: Filosofías de la naturaleza. *Areté Revista de Filosofía*, 29(1), 91–123. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arete/v29n1/a04v29n1.pdf>
- Folguera, G., & Marcos, A. (2013). El concepto de especie y los cambios teóricos en biología. *Ludus Vitalis*, 21(39), 1–25. https://www.centrolombardo.edu.mx/wp-content/uploads/2015/04/39-01_folguera_marcos.pdf
- Gamboa, M. A. (2016). Historia de la botánica. En *Botánica general: Introducción al estudio de las plantas* (pp. 23–49). [Editorial Missing]. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arete/v29n1/a04v29n1.pdf>
- Giraldo, O. F., & Toro, I. (2020). Afectividad ambiental: Sensibilidad, empatía, estéticas

- del habitar. El Colegio de la Frontera Sur, Universidad Veracruz. https://www.academia.edu/44464663/Afectividad_Ambiental
- Granelli, J. (2023). A meeting with gardenia: An ethnographic exploration of multispecies relationships and space construction in kirstenbosch national botanical garden. *Anthropology Southern Africa*, 46(4), 269–287. <https://doi.org/10.1080/23323256.2023.2256367>
 - Grego, R., Ward, N., Jiménez, J., Massardo, F., & Rozzi, R. (2018). Los ojos del árbol: Percibiendo, registrando, comprendiendo y contrarrestando las invasiones biológicas en tiempos de rápida homogeneización biocultural. *Magallania*, 46(1), 137–153. <https://www.scielo.cl/pdf/magallania/v46n1/0718-2244-magallania-46-01-00137.pdf>
 - Güitrón, R. (2020). Biopoder, psicopoder y ecopoder. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 54, 26–39. <https://doi.org/10.5380/dma.v54i0.69276>
 - Harari, Y., & Žižek, S. (2022, 18 de julio). Slavoj žižek & Yuval Noah Harari. Should we trust nature more than ourselves? [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=3jJRq-CW1dc>
 - Haraway, D. (2008). *When species meet*. University of Minnesota Press.
 - Head, L., Atchison, J., & Gates, A. (2012). *Ingrained: A human bio-geography of wheat*. Ashgate.
 - Heidegger, M. (1997a). *Filosofía, ciencia y técnica*. Editorial Universitaria.
 - Heidegger, M. (1997b). *Ser y tiempo*. Editorial Universitaria.
 - Heidegger, M. (1997c). *Introducción a la metafísica*. Editorial Gedisa.
 - Ingold, T. (2018). *La vida de las líneas*. Ediciones Universidad Alberto Hurtado.
 - Kay, J., & Regier, H. (2000). Uncertainty, complexity and ecological integrity: Insights from an ecosystem approach. En P. Crabbe, A. Holland, L. Ryszkowski, & L. Westra (Eds.), [Título del libro/Fuente missing] (pp. [Páginas missing]). [Editorial/Publicador Missing].
 - Kennedy, G. (1992). A hoot in the dark: The evolution of a general rhetoric. *Philosophy & Rethoric*, 25(1), 1–21.
 - Kirksey, S. E., & Helmreich, S. (2010). The emergence of multispecies ethnography. *Cultural Anthropology*, 25(4), 545–576. <https://doi.org/10.1111/j.1548-1360.2010.01069.x>
 - Kohn, E. (2013). *How forests think. Toward and anthropology beyond the human*. University of California Press.
 - Larrión, J. (2019). Teoría del actor-red. Síntesis y evaluación de la deriva postsocial de Bruno Latour. *Revista Española de Sociología*, 28(2), 323–341. <https://doi.org/10.22325/fes/res.2019.03>
 - Latour, B. (1993). *We have never been modern*. Harvard University Press.
 - Latour, B. (1999). On recalling ANT. En J. Law & J. Hassard (Eds.), *Actor network theory and after* (pp. 15–25). Blackwell.
 - Lavernia, K. (2020). *Ciencia y naturaleza en Goethe: Apuntes sobre la epistemología natu-*

REFERENCIAS

- ral goetheana a partir de la metamorfosis de las plantas. *Arbor*, 196(798), a583. <https://doi.org/10.3989/arbor.2020.798n4007>
- Maldonado, C. E. (2009a) (2009a). Complejidad de los sistemas sociales: Un reto para las ciencias sociales. *Cinta Moebio*, 36, 146–157. <https://www.moebio.uchile.cl/36/maldonado.html>
 - Maldonado, C. E. (2009b). Complejidad: Revolución científica y teoría. Editorial Universidad del Rosario. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/1d8d-9d5c-ca64-44da-9085-dba8cfc404de/content>
 - Maldonado, C. E. (2016a). Complejidad de las ciencias sociales. Y de otras ciencias y disciplinas. Ediciones Desde abajo. <http://cinfopec.com.mx/doc/cem-0074.pdf>
 - Maldonado, C. E. (2016b). Hacia una antropología de la vida: Elementos para una comprensión de la complejidad de los sistemas vivos. *Boletín de Antropología*, 31(52), 285–301. <https://doi.org/10.17533/udea.boan.v31n52a18>
 - Maldonado, C. E. (2016c). Pensar como la naturaleza, una idea radical. *Uni-pluri/ver-sidad*, 16(2), 41–51.
 - Maldonado, C. E. (2017). ¿Ciencias sociales cuánticas? *Le Monde diplomatique*, 165, 34–35. https://www.academia.edu/32546526/Ciencias_sociales_cu%C3%A1nticas
 - Maldonado, C. E. (2018). Bioeconomía, bio-desarrollo y civilización. Un mapa de problemas y soluciones. En M. Eschenhagen & C. Maldonado (Eds.), [Título del libro/Fuente missing] (pp. 69–93). [Editorial/Publicador Missing]. <http://cinfopec.com.mx/doc/cem-0005.pdf>
 - Maldonado, C. E. (2019a). Las ciencias de la complejidad son ciencias de la vida. En I. Villegas, L. Caballero, & X. Vizcaya (Eds.), [Título del libro/Fuente missing] (pp. 259–295). [Editorial/Publicador Missing]. <https://copitarxives.fisica.unam.mx/TS0018ES/TS0018ES.pdf>
 - Maldonado, C. E. (2019b). Tres razones de la metamorfosis de las ciencias sociales en el siglo XXI. *Cinta moebio*, 64, 114–122. <https://doi.org/10.4067/S0717-554X2019000100114>
 - Maldonado, C. E. (2020a). Occidente, la civilización que nació enferma. Ediciones Desde abajo. https://www.academia.edu/44383166/Occidente_la_civilizaci%C3%B3n_que_naci%C3%B3_enferma
 - Maldonado, C. E. (2020b). Tres lecciones que aprender de la crisis. *Ludus Vitalis*, 28(53), 115–119. https://www.researchgate.net/publication/348201264_TRES_LECCIONES_QUE_APRENDER_DE_LA_CRISIS
 - Maldonado, C. E. (2021a). De la ciencia lenta al pensar: El horizonte de la sabiduría. *Revista Thélós*, 1(12), 18–37. https://www.academia.edu/67822175/Investigar_en_ciencia_o_en_arte_no_es_mucha_la_diferencia_Maldonado_2_
 - Maldonado, C. E. (2021b). Las ciencias de la complejidad son ciencias de la vida. *Trepén Ediciones*.
 - Maldonado, C. E. (2021c). La naturaleza está

- viva: ¿Qué es el organicismo? A propósito de la crisis climática. *Le Monde diplomatique*, 213, 18–19. https://www.academia.edu/50819176/La_naturaleza_est%C3%A1_viva_Qu%C3%A9_es_el_organicismo
- Maldonado, C. E. (2021d). La extraña naturaleza de la vida biología cuántica, complejidad, vida, salud. *Investigaciones en complejidad y salud*, 9(3), 1–64. <https://doi.org/10.18270/wp.n3.9>
 - Maldonado, C. E. (2022) Maldonado, C. E. (2022). Biosemiótica y/como complejidad. Universidad El Bosque. https://www.researchgate.net/publication/365838126_Biosemi%C3%B3tica_y/como_complejidad
 - Maldonado, C. E. (2023). La bioeconomía como un enfoque de complejidad y crítico de la función de producción. En A. Rincón (Ed.), [Título del libro/Fuente missing] (pp. 51–64). [Editorial/Publicador Missing].
 - Maldonado, C., Aristizábal, C., Bonilla, J., Cárdenas, H., Galvis, S., Gómez, A., Munar, F., Rubio, D., Vivas, L., & Sandoval, J. (2019). Una introducción a la epigenética. *Complejidad y salud*. Universidad El Bosque. <https://doi.org/10.18270/wp.n1.1>
 - Marcos, A. (2010). Hacia una filosofía práctica de la ciencia: Especie biológica y deliberación ética. *Revista Latinoamericana de Bioética*, 10(2), 108–123. <http://www.scielo.org.co/pdf/rlb/v10n2/v10n2a10.pdf>
 - Marder, M. (2013). *Plant-thinking: A philosophy of vegetal life*. Columbia University Press.
 - Marder, M. (2014a). For a phytocentrism to come. *Environmental Philosophy*, 1–16. <https://doi.org/10.5840/enviophil20145110>
 - Marder, M. (2014b). *The philosopher's plant: An intellectual herbarium*. Columbia University Press.
 - Marder, M. (2016). *Injertos. Escritos sobre las plantas*. Editorial NEFOE.
 - Marder, M. (2020). *Dump philosophy. A phenomenology of devastation*. Bloomsbury Publishing.
 - Marder, M. (2021a). Teatro hoy 2020: Diálogo sin fronteras manuela infante y michael marder [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=wxZTMkt45ck>
 - Marder, M. (2021b). El mundo vegetal (de plantas en cuanto fantasmas). Michael marder en diálogo con ana carrasco-conde [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/live/RTqJ1PcYpAU?feature=share>
 - Marder, M. (2021c). Empezando por las plantas: Una filosofía de la vida vegetal [Archivo de video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=VK6EkWhl_A8
 - Martín, M. (2019). Una discusión en torno a los límites del concepto especie. *Revista de Humanidades de Valparaíso*, 19(12), 241–273. <https://doi.org/10.22370/rhv2019iss14>
 - Marzek, A. (2019). Filosofía de la vida vegetal (o pensamiento vegetal). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(3), 19–25. <https://www.proquest.com/docview/2404086848/10151CA84441414CP-Q/1?accountid=45097&sourcetype=Scholarly%20Journals>
 - McEwan, C. (2023). *Multispecies storytelling*

REFERENCIAS

- in botanical worlds: The creative agencies of plants in contested ecologies. *Environment and Planning E: Nature and Space*. <https://doi.org/10.1177/25148486221110755>
- Miller, T. L. (2019). *Plant kin: A multispecies ethnography in indigenous brazil*. University of Texas Press.
 - OCD. (2015). *Manual de frascati (2015). Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/manual-de-frascati-2015>
 - Onwuasoanya, N. (2016). Aprendizaje en mimosa pudica como ejemplo de inteligencia vegetal. *II Jornadas Doctorales de la Universidad de Murcia*. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/92864/1/BI%2018%20Aprendizaje%20en%20Mimosa%20pudica%20como%20ejemplo%20de%20Inteligencia%20Vegetal.pdf>
 - Osorio, J. (2018). ¿Son las plantas organismos con capacidad cognitiva? *Ciencia Cognitiva*, 12(3), 54–56. <https://www.cienciacognitiva.org/files/2018-12-e.pdf>
 - Palau y Verdera, A. (1778). Explicación de la filosofía y fundamentos botánicos de linneo, con la que se aclara y entienden fácilmente las instituciones botánicas de fournefort. Real Jardín Botánico. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/119896/file_1.pdf
 - Quijano, A. (2010). *Cátedra América Latina y la colonialidad del poder*. URP.
 - Resco, V. (2024, 3 de abril). *Ciencia fores-*
 - tal para la adaptación de los bosques a la crisis ambiental global [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=OjSu7XAjFU0>
 - Ríos, J. (2022). La descolonialidad del poder en América Latina crisis civilizatoria y nuevo horizonte de sentido histórico. *Asociación Latinoamericana de Sociología Perú*.
 - Romero, J. (2020). Biosemiótica: Hacia una teoría general de los signos de la naturaleza humana y no humana. *Revista Signa*, 29, 787–805. <https://doi.org/10.5944/signa.vol29.2020.23408>
 - Rozzi, R. (2018a). La filosofía ambiental de campo y la ecorregión subantártica de magallanes como un laboratorio natural en el antropoceno. *Magallania*, 46(1), 7–15. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-22442018000100007>
 - Rozzi, R. (2018b). Biocultural homogenization: A wicked problem in the anthropocene. En R. Rozzi, R. H. May, F. S. Chapin III, F. Massardo, M. Gavin, I. Klaver, A. Pauchard, M. A. Núñez, & D. Simberloff (Eds.), [Título del libro/Fuente missing] (pp. 21–47). [Editorial/Publicador Missing].
 - Segundo, M., & Calvo, P. (2021a). Consciousness and cognition in plants. *WIREs Cognition Sciences*, 1–23. <https://doi.org/10.1002/wcs.1578>
 - Segundo-Ortín, M., & Calvo, P. (2021b). Consciousness and cognition in plants. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 12(6), e1578. <https://doi.org/10.1002/wcs.1578>

- Simard, S. (2021a). En busca del árbol madre: Descubre la sabiduría del bosque. [Editorial Missing].
- Simard, S. (2021b). Mother trees and the social forest [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ydbzrun3opk>
- Skewes, J. C., Guerra, D., Rebolledo, S., & Palma, L. (2020). La regeneración de los bosques: Paisaje, prácticas y ontologías en el sur de Chile. *Estudios atacameños*, (65), 385–405. <https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-2020-0033>
- Sobrevilla, D. (2008). La filosofía andina del p. Josef estermann. *Solar*, 4(4), 231–247.
- Villagrán, C., & Squizzato, T. (2017). Una reflexión en torno a la flora, vegetación y etnobotánica en homero. *Gayana Bot.*, 74(1), 200–220. <https://www.scielo.cl/pdf/gbot/v74n1/0717-6643-gbot-00114.pdf>
- Wulf, A. (2017). La invención de la naturaleza. El nuevo mundo de Alexander von Humboldt. Taurus.
- Yang, A. (2023, 14 de abril). Las plantas hablan y ¡no es broma! National Geographic Latin America. <https://www.nationalgeographicla.com/ciencia/2023/04/las-plantas-hablan-y-no-es-broma>

PROCESOS DE GÉNESIS Y ONTOGENIA EN LA COMPLEJIDAD DE UN ECOSISTEMA FORESTAL

GENESIS AND ONTOGENY PROCESSES IN THE COMPLEXITY OF A FOREST ECOSYSTEM

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-11-25 / FECHA DE ACEPTACIÓN: 16-02-26

Benedicto Baca Rosado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO – UNSAAC, ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

Correo: benedicto.baca@unsaac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3882-2240>

RESUMEN

Este artículo investiga los procesos de génesis y ontogénesis en la complejidad de los ecosistemas forestales a través de la teoría de la complejidad. El objetivo es superar las dificultades en la comprensión del desarrollo evolutivo mediante un pensamiento crítico y multidisciplinario. Metodológicamente, se realiza una revisión bibliográfica cualitativa e interpretativa que descifra la naturaleza de la flora y fauna desde una perspectiva evolutiva y sistémica. Los resultados destacan la interpretación de la biodata taxonómica, identificando grupos de angiospermas como el grado ANA (o ANITA) y su filogenia ancestral que data de hace 140 millones de años. Asimismo, se analiza la plasticidad fenotípica adaptativa como estrategia esencial de supervivencia. Se concluye que el conocimiento multidimensional permite comprender la complejidad forestal no solo como un fenómeno biológico, sino como un sistema de información funcional creciente que integra factores

bióticos, abióticos y procesos coevolutivos.

Palabras Clave: Génesis, Ontogénesis, Teoría de la complejidad, Grado ANITA, Omnisciencia.

ABSTRACT:

This article investigates the processes of genesis and ontogenesis in the complexity of forest ecosystems through complexity theory. The objective is to overcome difficulties in understanding evolutionary development through critical and multidisciplinary thinking. Methodologically, a qualitative and interpretative literature review is conducted that deciphers the nature of flora and fauna from an evolutionary and systemic perspective. The results highlight the interpretation of taxonomic biodata, identifying groups of angiosperms such as the ANA (or ANITA) grade and their ancestral phylogeny dating back 140 million years. Additionally, adaptive phenotypic plasticity is analyzed as an essential survival strategy. It is concluded that multidimensional knowledge allows for understanding forest complexity not only as a biological phenomenon but also as a growing functional information system that integrates biotic, abiotic, and coevolutionary processes.

Keywords: Genesis, Ontogenesis, Complexity Theory, ANITA Degree, Omniscience.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los ecosistemas forestales tropicales contemporáneos evidencia una elevada diversidad biológica y química, expresada en una biomasa rica en compuestos aromáticos y resinas con propiedades ecológicas y medicinales. Entre las especies representativas se encuentran *Cedrela odorata* (cedro) y *Swietenia macrophylla* (caoba), junto con taxones de alto valor ecológico y funcional como *Dipteryx odorata*, *Copaifera*, *Spondias*, *Annona*, *Inga*, *Socratea*, *Astrocaryum* y *Mauritia flexuosa*, además de familias como Bromeliaceae, Orchidaceae y Moraceae. Estos organismos participan en complejas redes tróficas y químico-ecológicas, produciendo metabolitos secundarios —fragancias, hormonas y compuestos atrayentes— que cumplen funciones adaptativas y coevolutivas fundamentales.

No obstante, persiste un conocimiento limitado respecto a los procesos de génesis (filogénesis, en sus dimensiones macro y microevolutivas) y ontogénesis (desarrollo individual) que subyacen a la formación, integración y selección de especies en bosques clímax primarios. En este contexto, el propósito de la presente investigación es analizar dichos procesos desde el paradigma de la teoría de la complejidad, examinando cómo la interacción entre filogénesis y ontogénesis contribuye a la emergencia, estabilidad y diversificación de la biodiversidad forestal a lo largo de escalas temporales geológicas.

La investigación adopta un enfoque cualitativo, de carácter descriptivo-interpretativo, orientado a comprender los mecanismos evolutivos —tales como mutación, selección natural, deriva genética, coevolución y adaptación— en el marco de dinámicas no lineales, procesos autoorganizativos y relaciones multiescalares. Se consideran escalas temporales profundas (eones) para explicar la emergencia de linajes vegetales, la diversificación de estrategias adaptativas y la configuración estructural de los bosques tropicales actuales.

El problema central abordado radica en la insuficiente comprensión, por parte de profesionales vinculados a la gestión forestal, de los procesos de génesis y ontogénesis que explican la complejidad estructural y funcional de los bosques tropicales. La pregunta de investigación que orienta el estudio es: ¿Cómo los procesos de génesis y ontogénesis impulsan la formación, integración y selección de especies en asociaciones vegetales que configuran ecosistemas forestales de bosque clímax primario? De esta pregunta general se derivan las siguientes subpreguntas:

- a) ¿Qué mecanismos evolutivos complejos explican el origen común de los linajes ancestrales que dieron lugar a la diversidad actual?
- b) ¿Qué procesos ontogenéticos, desde la perspectiva de la complejidad, favorecen la plasticidad genética y fenotípica, la coevolución y la robustez biológica observadas en la biodiversidad forestal?
- c) ¿Qué factores ambientales, ecológicos y químicos han actuado como inductores interactivos a lo largo de los tiempos geológicos en la configuración de estos ecosistemas?

Para responder a estas interrogantes se realizó una revisión bibliográfica selectiva en bases de datos académicas de alto impacto, complementada con la experiencia acumulada del autor durante más de 30 años de trabajo de campo y la docencia universitaria en la Amazonía suroriental del Perú. Esta combinación metodológica permitió integrar evidencia teórica y empírica en una interpretación sistémica de los procesos evolutivos y ecológicos.

Los resultados se estructuran en nueve capítulos. El Capítulo 1 aborda la génesis de los linajes vegetales, presentando indicadores clave y teorías sobre el origen de los plastidios y las evidencias de su adaptación a la vida terrestre. El Capítulo 2 desarrolla la ontogénesis de plantas con y sin semillas, analizando los principales factores evolutivos asociados. El Capítulo 3 examina los factores botánicos, ambientales, bióticos y abióticos que han sido determinantes en la evolución vegetal. Los Capítulos 4, 5, 6 y 7 profundizan en la coevolución, la teoría de la complejidad, la plasticidad fenotípica y los mecanismos de adaptación como procesos articuladores de la biodiversidad. Finalmente, se presenta una discusión integradora y se formulan conclusiones orientadas a fortalecer la comprensión sistémica de los bosques tropicales desde una perspectiva evolutiva y compleja.

2. RESULTADOS

2.1 GÉNESIS Y ONTOGÉNESIS

El análisis de la génesis y la ontogénesis de la flora y la fauna constituye un campo interdisciplinario que integra aportes de la biología evolutiva, la ecología, la genética, la morfogénesis y la filosofía de la biología. Examinar la esencia de los organismos vivos implica comprender los procesos que explican su origen, transformación y diversificación a lo largo de millones de años, considerando tanto escalas macroevolutivas (especiación, radiaciones adaptativas, extinciones) como microevolutivas (variabilidad genética, selección natural, deriva genética). Esta aproximación permite describir y sistematizar la organización biológica en niveles jerárquicos—desde genes y organismos hasta poblaciones, comunidades y ecosistemas—, atendiendo a dimensiones como nutrición, reproducción, desarrollo, interacción ecológica y su articulación con los ciclos geobiológicos y los flujos de agua, energía y materia.

Desde una perspectiva filosófica, la reflexión sobre la génesis de los bosques amplía la comprensión de las plantas más allá de su dimensión estrictamente biológica, incorporando dimensiones sociales y culturales asociadas a su significado, uso y valoración. En el plano biológico, el análisis del fenotipo—resultado de la interacción entre genotipo y ambiente—permite explicar las transformaciones morfológicas y anatómicas que han posibilitado la colonización de diversos hábitats terrestres. Asimismo, el estudio de las respuestas a estímulos ambientales, tales como nastias, tropismos y otras formas de sensibilidad vegetal, contribuye a entender los mecanismos adaptativos que sustentan la persistencia y diversificación de los linajes vegetales.

El enfoque ontogenético, por su parte, se centra en los procesos que configuran el desarrollo individual desde la germinación y la embriogénesis hasta la madurez reproductiva. Este análisis considera la regulación genética, la diferenciación celular, la plasticidad fenotípica y la interacción con factores bióticos y abióticos. En un nivel ampliado, la ontogénesis se articula con dinámicas poblacionales y comunitarias, dado que el desarrollo individual influye en la estructura y funcionamiento de poblaciones, comunidades y ecosistemas. De este modo, la comprensión integrada de génesis y ontogénesis permite interpretar la complejidad de los sistemas forestales como el resultado de procesos históricos y desarrollos individuales interconectados en múltiples escalas espacio-temporales.

2.1.1 GÉNESIS

El origen de la vida vegetal se remonta a más de 1.500 millones de años, cuando organismos fotosintéticos unicelulares habitaban los océanos primitivos. La evidencia filogenética indica que las primeras plantas terrestres derivaron de algas verdes del linaje Charophyta, cuyo parentesco con las embriofitas actuales está ampliamente

documentado. Hace aproximadamente 470–500 millones de años, durante el Ordovícico, algunos representantes de este grupo colonizaron ambientes subaéreos, dando origen a las primeras plantas terrestres o embriofitas.

Estas formas iniciales, morfológicamente simples y dependientes de ambientes húmedos, presentaban características análogas a las actuales briofitas. Posteriormente, la evolución condujo al desarrollo de tejidos vasculares especializados (xilema y floema), lo que permitió la aparición de plantas vasculares como helechos y lycopodios, y más tarde la emergencia de plantas con semillas (gimnospermas y angiospermas), cuya innovación reproductiva favoreció la expansión hacia ambientes más secos y diversos.

2.1.1.1 INDICADORES CLAVE EN EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS

Entre los principales hitos evolutivos que marcaron la transición y diversificación de las plantas terrestres se destacan:

- Endosimbiosis primaria: el origen de los plastidios mediante la incorporación de una cianobacteria fotosintética en una célula eucariota ancestral, evento que posibilitó la fotosíntesis oxigénica en eucariotas.
- Colonización terrestre: desarrollo de adaptaciones estructurales como cutícula protectora, esporopolenina en las esporas y estructuras de anclaje (rizoides y raíces primitivas) para evitar la desecación.
- Aparición de plantas no vasculares: briofitas (musgos y hepáticas), altamente dependientes de ambientes húmedos debido a la ausencia de tejidos conductores especializados.
- Evolución de tejidos vasculares: diferenciación de xilema y floema, permitiendo mayor eficiencia en el transporte de agua y nutrientes, incremento en el tamaño corporal y diversificación ecológica.
- Desarrollo de semillas: innovación clave en gimnospermas y angiospermas que otorgó independencia relativa del agua para la reproducción y mayor protección al embrión.
- Simbiosis micorrícica: establecimiento de asociaciones mutualistas con hongos del suelo que optimizaron la absorción de nutrientes minerales y facilitaron la expansión terrestre.
- Diversificación morfofuncional: evolución de estructuras reproductivas complejas, hojas verdaderas y sistemas radiculares profundos, que contribuyeron a la estructuración de ecosistemas forestales.

2.1.2 PRINCIPALES TEORÍAS SOBRE EL ORIGEN DEL AGUA EN LA TIERRA

El agua, componente esencial para la emergencia y persistencia de la vida vegetal, tiene un origen aún debatido en la literatura científica. Se han propuesto tres hipótesis principales:

2.1.2.1 TEORÍA EXÓGENA O DEL BOMBARDEO EXTRATERRESTRE

Esta hipótesis sostiene que, durante el Bombardeo Intenso Tardío (hace aproximadamente 4.000 millones de años), cometas y asteroides ricos en hielo impactaron la Tierra primitiva, aportando cantidades significativas de agua.

La evidencia se basa en marcadores isotópicos: la relación deuterio/hidrógeno (D/H) del agua terrestre coincide con la de ciertos meteoritos, especialmente las condritas carbonáceas. Estudios de misiones espaciales como Rosetta sugieren que algunos cometas presentan composiciones isotópicas distintas, lo que ha reforzado la hipótesis de que los asteroides —más que los cometas— habrían sido la fuente predominante del agua exógena.

2.1.2.2 TEORÍA ENDÓGENA O DE LA DESGASIFICACIÓN VOLCÁNICA

Plantea que el agua ya estaba incorporada en los materiales que formaron la Tierra. Durante la diferenciación planetaria y la intensa actividad volcánica del eón Hádico, el vapor de agua y otros gases volátiles fueron liberados desde el interior terrestre hacia la atmósfera primitiva. Posteriormente, el enfriamiento progresivo del planeta permitió la condensación del vapor y la formación de los océanos.

2.1.2.3 HIPÓTESIS DE LAS ENSTATITA-CONDRIAS

Esta propuesta sugiere que meteoritos del tipo enstatita-condrita, con composición química similar a la de la Tierra primitiva, pudieron haber aportado agua en etapas tempranas de la acreción planetaria. Según esta hipótesis, el planeta habría contado con reservas hídricas significativas desde fases iniciales de su formación.

La evidencia actual apunta hacia un modelo mixto en el cual el agua terrestre provendría tanto de fuentes internas (desgasificación volcánica) como de aportes externos mediante impactos de asteroides. El enfriamiento progresivo de la Tierra permitió la estabilidad del agua líquida, condición indispensable para la aparición de las primeras formas de vida.

En este contexto geoquímico e hidrológico emergieron los primeros organismos fotosintéticos, cuya actividad liberó oxígeno a la atmósfera, transformando radicalmente las condiciones planetarias. La posterior transición de algas verdes hacia plantas terrestres marcó un punto de inflexión en la historia evolutiva, dado que la vegetación modificó los

ciclos biogeoquímicos, la formación de suelos y la regulación climática.

La historia evolutiva de las plantas, por tanto, debe entenderse como el resultado de procesos interrelacionados: cambios geológicos y atmosféricos, innovaciones biológicas, simbiosis interespecíficas y adaptaciones estructurales que, en conjunto, permitieron la conformación de ecosistemas terrestres complejos y, finalmente, de bosques estructuralmente organizados.

2.1.3 ORIGEN DEL PRIMER PLASTO

El origen del primer plasto se enmarca en el desarrollo de la teoría celular y en la reconstrucción filogenética de los linajes ancestrales. Según el paradigma evolutivo vigente, todos los organismos actuales descienden de un ancestro común universal, denominado LUCA (Last Universal Common Ancestor), que habría sido una célula de organización relativamente simple, comparable a los procariotas contemporáneos, es decir, carente de núcleo y de compartimentación interna compleja.

A partir de ciertos linajes procariotas se produjo un incremento progresivo en la complejidad estructural y metabólica, lo que condujo a la emergencia de las primeras células eucariotas. Todas las células eucariotas actuales derivarían de un ancestro común denominado LECA (Last Eukaryotic Common Ancestor), caracterizado por la presencia de un núcleo delimitado por membrana y un sistema endomembranoso desarrollado. Este ancestro ya poseía compartimentos intracelulares especializados, tales como retículo endoplasmático, aparato de Golgi, endosomas y mitocondrias, además de un citoesqueleto funcional. En los linajes vegetales, la organización celular incluye adicionalmente pared celular y plastidios, entre ellos los cloroplastos.

El origen de los plastidios —incluidos los cloroplastos— se explica mediante la teoría endosimbiótica primaria. De acuerdo con este modelo, una célula eucariota ancestral incorporó por fagocitosis a una cianobacteria fotosintética, estableciéndose una relación simbiótica estable. Con el tiempo, este endosimbionte transfirió parte de su material genético al núcleo del hospedador y perdió autonomía, transformándose en un orgánulo permanente: el plasto. Este evento fue determinante para la evolución de los linajes fotosintéticos eucariotas y, en última instancia, para la diversificación de las plantas terrestres.

La evidencia que respalda esta hipótesis incluye la presencia de ADN circular propio en los plastidios, su doble membrana, la similitud de sus ribosomas con los bacterianos y análisis filogenómicos que vinculan los plastidios con cianobacterias ancestrales. Este proceso marcó un hito evolutivo, al integrar la fotosíntesis oxigénica en células eucariotas y modificar profundamente los ciclos biogeoquímicos del planeta.

Los registros fósiles más antiguos de eucariotas datan de aproximadamente 1.500 millones

de años, aunque estimaciones moleculares sugieren un origen aún más temprano. La aparición de células eucariotas con plastidios constituyó una innovación evolutiva fundamental, ya que permitió la expansión de organismos fotosintéticos complejos y sentó las bases para la posterior evolución de algas y plantas terrestres.

2.1.4 SIMBIOGÉNESIS

El concepto de simbiogénesis fue formulado inicialmente por Konstantin Mereschkowski a comienzos del siglo XX (1905, 1910), quien propuso que los cloroplastos de las células eucariotas fotosintéticas se originaron a partir de la incorporación de una célula procariota por parte de una célula eucariota ancestral. Esta hipótesis, adelantada a su tiempo, sentó las bases del actual paradigma de la endosimbiosis, según el cual ciertos orgánulos celulares derivan de antiguas asociaciones simbióticas estables entre organismos distintos.

La teoría endosimbiótica fue posteriormente ampliada y consolidada por Lynn Margulis, quien integró evidencias citológicas, bioquímicas y genéticas para sostener que las mitocondrias y los cloroplastos tuvieron un origen bacteriano. De acuerdo con este modelo, una célula eucariota primitiva incorporó inicialmente una α -proteobacteria aerobia, que dio origen a la mitocondria, permitiendo una mayor eficiencia en la respiración celular y en la producción de energía. Este evento precedió temporalmente a la adquisición de los plastidios. Posteriormente, en un linaje ya mitocondriado, se produjo la endosimbiosis de una cianobacteria fotosintética, que evolucionó hacia el cloroplasto.

En la actualidad, existe amplio consenso científico respecto al origen endosimbiótico de mitocondrias y cloroplastos. Entre las principales evidencias se encuentran: la presencia de ADN circular propio en ambos orgánulos, ribosomas de tipo bacteriano, división por fisión binaria y la existencia de doble membrana, coherente con un proceso de incorporación por fagocitosis. Además, los análisis filogenómicos confirman la relación de las mitocondrias con α -proteobacterias y de los plastidios con cianobacterias.

Se ha planteado la posibilidad de que otros componentes celulares, como peroxisomas, cilios y flagelos, pudieran haber tenido un origen endosimbiótico. Sin embargo, a diferencia de mitocondrias y plastidios, la evidencia empírica que respalde esta hipótesis es limitada y no existe consenso al respecto. En consecuencia, la simbiogénesis constituye un mecanismo evolutivo fundamentalmente reconocido en la explicación del origen de los principales orgánulos energéticos de la célula eucariota, destacando la cooperación simbiótica como fuerza generadora de innovación biológica y complejidad estructural.

2.1.5 ENDOSIMBIOSIS

La teoría de la endosimbiosis constituye uno de los pilares explicativos del origen de la célula

eucariota y de ciertos orgánulos energéticos fundamentales. Esta hipótesis se sustenta en similitudes estructurales, bioquímicas y genéticas entre bacterias actuales y orgánulos como mitocondrias y cloroplastos. Ambos presentan dimensiones comparables a las bacterias, poseen ADN circular propio, ribosomas de tipo 70S y capacidad de replicación autónoma mediante fisión binaria. Asimismo, están rodeados por una doble membrana, rasgo coherente con un proceso de incorporación celular por fagocitosis. En el caso de los plastidios, su ancestro cianobacteriano habría poseído una pared con peptidoglicano, posteriormente reducida o modificada durante la integración endosimbiótica.

Se acepta actualmente que las mitocondrias derivan de bacterias aerobias relacionadas con las α -proteobacterias, mientras que los cloroplastos se originaron a partir de cianobacterias fotosintéticas. La incorporación inicial de la mitocondria habría proporcionado una ventaja metabólica decisiva, al incrementar la eficiencia energética celular mediante la fosforilación oxidativa. Este aumento en la disponibilidad de energía —expresada en la síntesis de adenosín trifosfato (ATP), principal molécula de transferencia energética en los sistemas biológicos— permitió la expansión del tamaño celular, la complejización estructural y el desarrollo de nuevos sistemas regulatorios. El ATP desempeña funciones esenciales en procesos metabólicos, transporte activo de iones y síntesis de ácidos nucleicos.

La integración endosimbiótica implicó una profunda reorganización genética. Mientras que las cianobacterias actuales poseen aproximadamente 3.000 genes, los cloroplastos modernos conservan entre 100 y 200, responsables de codificar una fracción minoritaria de sus proteínas. La mayoría de los genes del endosimbionte fue transferida al núcleo del hospedador en un proceso conocido como transferencia génica endosimbiótica. Como resultado, las proteínas codificadas en el núcleo deben ser sintetizadas en el citosol y posteriormente importadas al orgánulo, lo que implica mecanismos complejos de señalización y transporte intracelular. Un proceso análogo ocurrió con las mitocondrias. Esta reorganización permitió que el núcleo asumiera el control funcional y reproductivo de los orgánulos, consolidando su integración permanente.

Desde una perspectiva evolutiva, la eucariogénesis habría comenzado con la fusión entre una arquea hospedadora y una bacteria simbiote. Se postula que esta interacción estuvo precedida por una fase de cooperación metabólica, previa a la internalización definitiva. Durante este proceso, la célula hospedadora desarrolló un sistema de endomembranas y un citoesqueleto, mientras que la bacteria evolucionó gradualmente hacia la mitocondria. Posteriormente, en ciertos linajes ya mitocondriados, se produjo una segunda endosimbiosis primaria: la incorporación de una cianobacteria que dio origen a los plastidios. Este evento permitió la aparición de eucariotas fotosintéticos, como algas y plantas, que poseen tanto mitocondrias como cloroplastos.

En la actualidad se reconocen tres eventos de endosimbiosis primaria. El primero corresponde al origen de las mitocondrias; el segundo, al de los plastidios en el linaje que

dio lugar a plantas y algas; y un tercero, más reciente y menos extendido, documentado en el protista *Paulinella chromatophora*, que incorporó independientemente una cianobacteria distinta para formar un orgánulo fotosintético.

Además de las endosimbiosis primarias, se han descrito eventos de endosimbiosis secundaria y terciaria. La endosimbiosis secundaria ocurre cuando una célula eucariota que ya posee plastidios es incorporada por otra eucariota, generando plastidios rodeados por múltiples membranas. Este fenómeno ha sucedido en varias líneas evolutivas de protistas fotosintéticos. La endosimbiosis terciaria implica la incorporación de un eucariota que previamente había experimentado endosimbiosis secundaria, evidenciando la reiteración histórica de estos procesos en la diversificación de linajes fotosintéticos.

La endosimbiosis no se limita a eventos antiguos. En la naturaleza contemporánea se observan múltiples asociaciones intracelulares. Diversos invertebrados albergan bacterias simbiotas que completan su ciclo de vida dentro de las células del hospedador y pueden transmitirse verticalmente a la descendencia. En el ámbito protista, especies del género *Paramecium* bursaria contienen algas del género *Chlorella* en su interior, estableciendo una relación mutualista en la que el hospedador proporciona movilidad y acceso a la luz, mientras que el alga suministra productos fotosintéticos.

Estos ejemplos ilustran que la integración simbiótica constituye una vía recurrente de innovación evolutiva. En el caso del linaje vegetal, la primera célula fotosintética eucariota se formó mediante un proceso de simbiogénesis seriada, que implicó la fusión entre un hospedador eucariota y una cianobacteria ancestral. Las similitudes genéticas y ultraestructurales entre plastidios y cianobacterias, junto con la reducción genómica y la transferencia génica hacia el núcleo, constituyen evidencias robustas de este origen compartido.

En conjunto, la teoría de la endosimbiosis revela que la célula eucariota —y en particular la célula vegetal— puede entenderse como una entidad resultado de integraciones simbióticas sucesivas. Este modelo resalta la cooperación intercelular como motor fundamental de la complejidad biológica y de la diversificación evolutiva de los organismos fotosintéticos.

2.1.6 EVIDENCIA

Las teorías que abordan la evolución de las plantas a través de la simbiogénesis encuentran respaldo en las similitudes observadas entre las cianobacterias y los plastos. En las glaucofitas, que tienen plastos denominados cianelas, todavía se pueden identificar homologías en las membranas debido a la presencia de galactolípidos, proteínas y una pared celular típicamente bacteriana, que está compuesta de peptidoglicano. El ADN que contienen es circular, similar al de los procariotas, y se han localizado genes

cianobacterianos tanto en el plasto como en el núcleo. Sus ribosomas se asemejan a los de los procariotas, con un tamaño de 70S. Además, el plasto reacciona ante antibióticos como la estreptomicina y la kanamicina. Existen semejanzas en los mecanismos de los fotosistemas I y II, la presencia de membranas tilacoides con pigmentos fotosintéticos de las cianobacterias como clorofila y carotenos, así como la aparición de ficobilisomas en glaucofitas y rodofitas.

2.1.7 ADAPTACIONES PARA LA VIDA TERRESTRE

Las hepatofitas primordiales son plantas pequeñas, no vasculares, que se asemejan a los musgos. No poseen raíces, flores ni semillas, y su reproducción se lleva a cabo por esporas. Generalmente, se desarrollan en ambientes húmedos y oscuros, adhiriéndose a suelos, rocas o troncos. Las plantas embriofitas, al adaptarse a la vida terrestre, desarrollaron mecanismos para evitar la deshidratación, como la cutícula que recubre el esporófito, que es la fase diploide ($2n$) del ciclo de vida de plantas y algas responsable de generar esporas por medio de la meiosis. Esta fase se alterna con una fase haploide (n) llamada gametofito, que produce esporas y una sustancia llamada esporopolenina, la cual forma una pared gruesa en la espora. Para protegerse de la radiación ultravioleta, que es más fuerte en ambientes terrestres, las plantas desarrollaron flavonoides, que son compuestos fitoquímicos con propiedades antioxidantes.

El intercambio de aire se lleva a cabo a través de pequeños poros en la epidermis denominados estomas. Para manejar las elevadas concentraciones de oxígeno en el aire (que son superiores a las de los ambientes acuáticos), dado que un exceso puede interferir con la fijación de dióxido de carbono, el metabolismo incluye un sistema de oxidación del glicolato, conocido como fotorrespiración. Además, se ha hallado que, como parte de su adaptación a la vida terrestre, se estableció una simbiosis micorriza con hongos glomales hace unos 460 millones de años, de manera similar a lo que se observa en briofitas primordiales como las hepáticas, facilitando la absorción de nutrientes y minerales, así como la resistencia al estrés mineral del suelo.

2.1.8 PLANTAS PREVASCULARES

En sus etapas iniciales, antes del desarrollo del tejido vascular, los esporangios comenzaron a ramificarse dentro del grupo conocido como Polysporangiophyta. Esto indica que existieron ciertas agrupaciones de plantas que mostraron un desarrollo intermedio entre las briofitas y las traqueofitas, a las cuales se les ha denominado protraqueofitas, con ejemplos como Aglaophyton, Caia y Tortilicaulis.

2.1.9 VASCULARIZACIÓN.

Aunque no hay consenso sobre si las plantas con tejido vascular provienen de un ancestro común, la bioquímica, que incluye elementos como la clorofila *a* y la celulosa en sus paredes celulares, así como la histología, que se refiere al desarrollo de las traqueidas, en conjunto con el ciclo de vida de las plantas vasculares actuales —que presentan alternancia de generaciones y predominancia del esporófito— parecen apoyar esta teoría. Se han detectado meiosporas triletas con características específicas de las plantas vasculares y restos vegetales aislados en estratos del Cámbrico Inferior. Un ejemplo es *Aldanophyton*, también del Cámbrico, que muestra una anatomía similar a la de los licopodios, con microfílos dispuestos en forma helicoidal, lo que puede sugerir una posible organización vascular compleja, aunque esta no se haya preservado. Adicionalmente, otros restos fragmentarios y esporas triletas de periodos Ordovícico y Silúrico parecen dar indicios de un origen muy antiguo para este grupo, aunque no ofrecen pruebas definitivas.

En el Devónico, las plantas vasculares comienzan a colonizar ampliamente los suelos. Los fósiles más antiguos de vegetales terrestres con organización vascular se datan en el Silúrico superior. Durante el periodo que va del Silúrico al Devónico, los vegetales vasculares exhiben una anatomía bastante rudimentaria. Un ejemplo es *Cooksonia*, que presenta ejes cilíndricos ramificados verticalmente de manera dicótoma y isótoma, con esporangios en la parte terminal y un tipo de protostela que data este grupo en al menos 420 millones de años. El género *Cooksonia* parece diversificarse y expandirse en el Devónico inferior, y se han reconocido hasta seis especies basándose en la morfología de sus esporangios.

Este género continúa existiendo hasta el Emsiense (Devónico inferior), momento en el que comparte su existencia con *Steganotheca* y *Uskiella*, ambos con una anatomía y sistema vascular simples. Los restos de *Baragwanathia*, en cambio, muestran una estructura mucho más sofisticada, con una protostela en forma de estrella, traqueidas anulares, y microfílos en disposición helicoidal alrededor del tallo. Este tipo de planta se había fechado inicialmente en el Silúrico superior, aunque estudios posteriores sugieren que su antigüedad es más reciente, siendo del Devónico inferior.

En el Devónico inferior (Pragiense y Emsiense), en ambientes fluviales y lacustres, surgen tres grupos de plantas vasculares: *Polysporangiophyta* (*Horneophytosida* y *Aglaophyton*), *Tracheophyta* (*Rhyniophyta*, *Trimerophytophyta*) y posiblemente el ancestro directo de *Eutracheophyta* dentro de este último grupo. Por lo tanto, algunas investigaciones indican que un integrante del clado *Rhyniopsida* (*Huia*, *Huvenia*, *Renalia*, *Rhynia*, *Yunia*) podría ser el precursor de las traqueófitas actuales, aunque también se considera que pudieran ser antepasados de *Equisetales*, que comparten el mismo tipo de traqueidas.

A lo largo del Devónico Medio, las plantas con estructuras vasculares pasan por una destacada diversificación y, gracias a los beneficios evolutivos proporcionados por un sistema vascular, aumentan de tamaño y establecen los primeros bosques. Como resultado,

los ecosistemas terrestres del periodo devónico están poblados por grandes plantas de cinco grupos de traqueofitas: Lycopsidea (Lycophyta), Pseudosporochneales (Cladoxylopsida), Sphenopsida y Filicopsida (Monilophyta), junto a Progymnosperma (Lignophyta), todas desarrollándose en áreas húmedas cercanas a lagos y pantanos.

2.1.10 EVIDENCIA DE LA SIMBIOGÉNESIS

La hipótesis endosimbiótica del origen de los plastidios se sustenta en múltiples evidencias estructurales, bioquímicas y genómicas que vinculan a los plastos con las cianobacterias. En las glaucofitas —cuyos plastidios, denominados cianelas, conservan rasgos particularmente primitivos— se observan homologías notables, como la presencia de una pared con peptidoglicano, doble membrana y composición lipídica semejante a la bacteriana.

Los plastidios contienen ADN circular y ribosomas 70S, similares a los procariotas, y muestran sensibilidad a antibióticos como estreptomicina y kanamicina, lo que evidencia su origen bacteriano. Asimismo, análisis filogenéticos han identificado genes de origen cianobacteriano tanto en el genoma plastidial como en el nuclear, reflejando procesos de transferencia génica endosimbiótica. A nivel funcional, la organización de los fotosistemas I y II, la presencia de tilacoides y pigmentos fotosintéticos (clorofilas y carotenoides), así como ficobilisomas en glaucofitas y rodofitas, refuerzan la relación evolutiva con cianobacterias ancestrales.

2.1.11 ADAPTACIONES PARA LA VIDA TERRESTRE

La transición de las embriofitas al medio terrestre implicó innovaciones morfofisiológicas decisivas. Las primeras plantas terrestres, semejantes a hepáticas y musgos, eran de pequeño tamaño, no vasculares y dependientes de ambientes húmedos. Carecían de raíces verdaderas, flores y semillas, y se reproducían mediante esporas.

Entre las principales adaptaciones destacan:

- Prevención de la desecación: desarrollo de cutícula en el esporófito y deposición de esporopolenina en las paredes de las esporas.
- Protección frente a radiación ultravioleta: síntesis de flavonoides con propiedades antioxidantes.
- Intercambio gaseoso regulado: aparición de estomas en la epidermis.
- Ajustes metabólicos: establecimiento de la fotorrespiración como vía asociada al metabolismo del glicolato en condiciones atmosféricas ricas en oxígeno.

- Simbiosis micorrízica: asociación temprana con hongos glomeromicetos (≈ 460 millones de años), facilitando la absorción de nutrientes minerales y la tolerancia al estrés edáfico.

Estas innovaciones permitieron la consolidación de ciclos de vida con alternancia de generaciones (gametofito haploide y esporófito diploide), característica distintiva de las plantas terrestres.

2.1.12 PLANTAS PREVASCULARES

Antes de la aparición de tejidos vasculares plenamente diferenciados, existieron formas intermedias agrupadas dentro de Polysporangiophyta. Estas plantas, consideradas protraqueofitas, presentaban esporangios ramificados y anatomía transicional entre briofitas y traqueofitas. Géneros fósiles como *Aglaophyton* evidencian esta condición intermedia, con tejidos conductores incipientes pero sin traqueidas lignificadas plenamente desarrolladas.

1.1.10. Vascularización y diversificación devónica

El origen de las plantas vasculares (traqueofitas) continúa siendo objeto de debate; sin embargo, evidencias bioquímicas (clorofila a, celulosa), histológicas (desarrollo de traqueidas) y paleobotánicas (meiosporas triletas) sugieren una temprana diversificación en el Paleozoico. Restos fósiles del Silúrico superior y Devónico inferior, como los del género *Cooksonia*, muestran ejes ramificados dicotómicamente con esporangios terminales y protostela simple, indicando una organización vascular incipiente hace aproximadamente 420 millones de años.

Durante el Devónico temprano, se diversificaron varios linajes de plantas vasculares, incluyendo Rhyniophyta y otros grupos basales de traqueofitas. En el Devónico medio, la expansión del sistema vascular permitió un aumento significativo del tamaño corporal y la formación de los primeros bosques. Entre los principales grupos que colonizaron ambientes húmedos se encuentran Lycopsidea (Lycophyta), Sphenopsida, Filicopsida (Monilophyta) y Progymnosperma (Lignophyta).

La vascularización representó una innovación evolutiva crucial, al optimizar el transporte de agua y nutrientes, favorecer la lignificación estructural y permitir la ocupación vertical del espacio. Este proceso transformó radicalmente los ecosistemas terrestres del Devónico, incrementando la complejidad ecológica y modificando los ciclos biogeoquímicos globales.

En conjunto, la evidencia paleobotánica, anatómica y molecular confirma que la evolución vegetal estuvo marcada por innovaciones progresivas —simbiogénesis, adaptación terrestre y vascularización— que condujeron a la consolidación de ecosistemas forestales complejos.

2.1.13 FÓSILES ARBORESCENTES DEL DEVÓNICO Y CARBONÍFERO: EL CASO DE SIGILLARIA

La consolidación de formas arbóreas en el registro fósil paleozoico representa un hito en la estructuración de los primeros bosques terrestres. Dentro de la clase Cladoxylopsida, el orden Pseudosporochneales incluye algunos de los primeros organismos con porte arbóreo, caracterizados por un eje radial altamente elaborado. Géneros como *Wattieza* y *Pseudosporochneus*, datados del Eifeliense y Emsiense (Devónico medio e inferior), presentan troncos erectos de hasta 13 cm de diámetro, con base bulbosa y amplia corona de ramificaciones. En el caso de *Wattieza*, se han estimado alturas superiores a los 8 metros, lo que evidencia una arquitectura arbórea temprana y compleja.

Una morfología comparable se observa en los Progymnosperma, particularmente en *Archaeopteris*, considerado uno de los primeros árboles verdaderos por su combinación de crecimiento secundario leñoso y frondes similares a helechos. Este linaje desempeñó un papel crucial en la expansión de los bosques devónicos y en la modificación de los ciclos del carbono y del suelo.

Otros grupos de traqueofitas también alcanzaron porte arbóreo hacia el Devónico tardío y, con mayor desarrollo, durante el Carbonífero temprano. Entre ellos se incluyen representantes de Sphenopsida (orden Equisetales), Filicopsida (Monilophyta) y Lycopsidea. Dentro de este último grupo, el orden Lepidodendrales dio lugar a géneros emblemáticos como *Lepidodendron* y *Sigillaria*, caracterizados por tallos robustos, cicatrices foliares distintivas y alturas que podían superar varias decenas de metros en ambientes pantanosos.

En conjunto, estos linajes arborescentes reflejan la diversificación estructural y funcional de las plantas vasculares durante el Paleozoico, proceso que culminó en la formación de extensos bosques carboníferos y en una transformación sustancial de los ecosistemas terrestres.

2.2 ONTOGÉNESIS

La ontogénesis se define como el desarrollo individual de un organismo desde la formación del cigoto hasta la madurez fisiológica y morfológica. Este proceso integra la expresión genética, la diferenciación celular, la organogénesis y la adquisición de la capacidad reproductiva. En términos evolutivos, la ontogénesis se encuentra condicionada por la filogénesis, en tanto los programas de desarrollo resultan de la historia evolutiva acumulada de los linajes. Desde la perspectiva inaugurada por Charles Darwin (1859), los organismos portadores de variaciones hereditarias ventajosas presentan mayor probabilidad de supervivencia y reproducción, articulando así desarrollo individual y selección natural.

Recientemente, el Servicio de Información y Noticias Científicas (SINC, 2023) difundió

la propuesta de una “ley de información funcional creciente”, según la cual los sistemas naturales complejos —vivos y no vivos— tienden a evolucionar hacia configuraciones con mayor diversidad estructural y funcional. Esta hipótesis sostiene que la complejidad aumenta en el tiempo no solo en los organismos, sino también en sistemas físicos como estrellas, planetas o estructuras atómicas. En este marco, se distinguen tres funciones fundamentales: (1) estabilidad, referida a la persistencia de configuraciones estructurales; (2) dinámica energética, asociada a sistemas capaces de mantener flujos constantes de energía; y (3) novedad, entendida como la exploración de nuevas configuraciones que generan propiedades emergentes. Este enfoque amplía la teoría evolutiva clásica al integrar principios de autoorganización y complejidad.

La biodiversidad contemporánea puede concebirse como el resultado acumulativo de innumerables ontogénesis moldeadas por procesos filogenéticos a lo largo del tiempo geológico. En este contexto, la microevolución alude a cambios genéticos en poblaciones a corto plazo, estudiados por la genética de poblaciones, mientras que la macroevolución comprende transformaciones por encima del nivel de especie —como la especiación y la diversificación de linajes— que ocurren en escalas temporales de millones de años.

En escenarios de cambio ambiental severo, los linajes enfrentan tres posibles trayectorias: (a) extinción, (b) replegamiento hacia refugios ecológicos que permiten la persistencia poblacional, o (c) adaptación gradual mediante modificaciones genéticas y fenotípicas que pueden originar nuevas especies por selección adaptativa. Estos procesos explican la dinámica histórica de expansión, contracción y diversificación de la vida.

Finalmente, la historia evolutiva revela transiciones mayores asociadas al incremento de complejidad funcional: la aparición de la fotosíntesis, la emergencia de la multicelularidad y el desarrollo de nuevas estrategias comportamentales —como nadar, caminar, volar o pensar— constituyen hitos que reconfiguraron la biosfera. En síntesis, la ontogénesis debe comprenderse como un proceso biológico individual inscrito en una dinámica evolutiva más amplia, donde estabilidad, flujo energético y novedad interactúan en la generación progresiva de complejidad.

2.2.1 LAS PLANTAS CON SEMILLAS

Las plantas con semillas (Spermatophyta) surgieron de plantas leñosas conocidas como progimnospermas, que desarrollaron la semilla como un nuevo método reproductivo en el Devónico Superior. La aparición de semillas representó un avance crucial en la adaptación de las plantas a los ambientes terrestres, ya que no solo predominó el esporófito, sino que el gametófito se redujo hasta convertirse en una estructura que depende del esporófito, al estar encerrado en el arquegonio. Los anterozoides de las plantas ancestrales (que a menudo contaban con flagelos) fueron sustituidos por el proceso de polinización, lo que permitió a las plantas liberarse del agua como medio para la fecundación. Además, el cigoto

y el embrión en crecimiento (que se convertirá en el nuevo esporófito) ya no dependen del agua, puesto que la semilla resguarda al embrión en su interior con una cubierta dura. Las primeras espermatofitas se conocen como "helechos con semilla" debido a su parecido con los verdaderos helechos, de ahí su denominación Pteridospermae.

La abundancia de estos fósiles provenientes del Carbonífero llevó a que en el siglo XIX se designara a este periodo como la "era de los helechos", cuando en realidad debería reconocerse como la "era de las pteridospermas". Durante el Carbonífero, las plantas con semillas evolucionaron hacia el linaje que darían origen a las actuales gimnospermas y plantas con flores (Anthophyta). Dentro de las gimnospermas, las más antiguas son las coníferas como los Cordaitales, y en el Pérmico aparecen claramente ginkgos, cícadas y gnetales.

2.2.2 ANGIOSPERMAS

Las angiospermas, también conocidas como Magnoliophytas, son plantas que producen flores. Surgieron a inicios del Cretácico y son descendientes de plantas con flores del grupo Anthophyta. Su éxito evolutivo se debe, en gran medida, al desarrollo de flores y frutos. Las flores son eficaces en la polinización gracias a sus colores, aromas y néctar que provienen de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y otros atractivos, lo que también promueve la interacción con diversos animales, como insectos, aves y mamíferos, lo que significa que no dependen del viento para la polinización. Del mismo modo, los frutos atraen a los animales que ayudan en la dispersión de las semillas.

Los cuatro principales grupos de angiospermas, basados en su filogenia, son: Magnólidos, Monocotiledóneas, Eudicotiledóneas y la agrupación basal, también llamada "grado ANA" o ANITA grade. (es referido a primeras plantas con flores, que divergieron evolutivamente del resto, conocidas como angiospermas basales). También denominados como Chloranthales y los Cabombaceae, representan a las angiospermas más primitivas que se separaron de los otros grupos. Estos grupos representan las ramas iniciales que se separan en el árbol filogenético. Se originan a principios del Cretácico Inferior y los fósiles más antiguos, datan de hace aproximadamente 140 millones de años, así como los Nymphaeales (grado ANITA) de hace 120 millones de años, además de fósiles de Eudicotiledóneas y Monocotiledóneas.

Estos grupos se dividen en los siguientes órdenes:

- Magnólidos de hace 140 millones de años: Este grupo comprende órdenes como Laurales, Magnoliales y Piperales, y representa una de las ramas más antiguas de las angiospermas.
- Monocotiledóneas: Incluye plantas como gramíneas (Poaceae) y orquídeas (Orchidaceae), que poseen un solo cotiledón en sus semillas.

- **Eudicotiledóneas:** Un grupo extenso y variado, que abarca la mayoría de las plantas con flores contemporáneas, con dos cotiledones en sus semillas.

La diversificación se produjo hacia el final de este periodo (hace alrededor de 100 millones de años), donde las angiospermas comenzaron a multiplicarse rápidamente y a superar a las gimnospermas. Las diferencias entre angiospermas y gimnospermas residen principalmente en la presencia de flores y frutos; las angiospermas tienen sus semillas resguardadas dentro de un fruto, mientras que las gimnospermas las tienen expuestas, generalmente en estructuras llamadas conos. Las angiospermas, además, suelen contar con hojas anchas y una mayor complejidad en su tejido, y muchas veces son polinizadas por animales, mientras que las gimnospermas tienden a tener hojas en forma de aguja y se polinizan principalmente por el viento.

CUADRO 1:

ESTADO ACTUAL: HACE ENTRE 65 Y 75 MILLONES DE AÑOS, MUCHAS DE LAS FAMILIAS DE ANGIOSPERMAS QUE RECONOCEMOS HOY YA ESTABAN PRESENTES, CONVIRTIÉNDOSE EN LAS PLANTAS MÁS DIVERSAS Y ABUNDANTES DEL MUNDO.

Característica	Angiospermas	Gimnosperma
Flores frutos	Producen flores y sus semillas se desarrollan dentro de un fruto.	No producen flores ni frutos; sus semillas están desprotegidas.
Semillas	Las semillas están encerradas en el ovario del fruto.	Las semillas se encuentran expuestas, a menudo en conos (estróbilos).
Hojas	Gran variedad de formas, incluyendo hojas anchas y planas. Pueden ser perennes o caducas.	Generalmente hojas pequeñas en forma de aguja o escama; suelen ser perennes.
Polinización	Estrategias de polinización muy diversas, incluyendo animales (insectos, aves, etc.) y el viento.	
Tejido vascular	Poseen vasos en su tejido vascular, excepto algunas formas muy primitivas.	Carecen de vasos en su tejido vascular, con la excepción de la especie <i>Gnetum</i>

2.2.3 PLANTAS CON SEMILLAS (SPERMATOPHYTA)

Las Spermatophyta surgieron en el Devónico Superior a partir de progimnospermas

leñosas que desarrollaron la semilla como innovación reproductiva clave. Este carácter permitió una transición decisiva hacia la independencia del agua para la fecundación y consolidó el predominio del esporófito en el ciclo de vida. El gametófito quedó altamente reducido y retenido dentro de estructuras protectoras, mientras que la polinización sustituyó a los anterozoides flagelados ancestrales como mecanismo de transporte del gameto masculino.

Las primeras espermatofitas, conocidas como pteridospermas o “helechos con semilla”, dominaron amplios ecosistemas del Carbonífero. La abundancia de sus fósiles llevó en el siglo XIX a denominar este período como la “era de los helechos”, aunque paleobotánicamente corresponde más propiamente a la expansión de las pteridospermas. Durante el Carbonífero y el Pérmico se diversificaron los linajes que darían origen a las gimnospermas modernas —incluyendo coníferas tempranas como los Cordaitales— y posteriormente a los ginkgos, cícadas y gnetales, prefigurando la radiación posterior de las plantas con flores.

2.2.4 ANGIOSPERMAS (MAGNOLIOPHYTA)

Las angiospermas o Magnoliophyta emergieron a inicios del Cretácico (≈ 140 Ma) y constituyen el grupo dominante de plantas actuales. Su éxito evolutivo se asocia al desarrollo de flores y frutos, estructuras que optimizan la polinización y dispersión de semillas. Las flores incorporan señales visuales, químicas y nutritivas (incluidos compuestos orgánicos volátiles) que favorecen interacciones mutualistas con insectos, aves y otros animales, reduciendo la dependencia exclusiva del viento. Los frutos, a su vez, protegen la semilla y facilitan su dispersión zoócora.

Filogenéticamente, las angiospermas se organizan en cuatro grandes clados:

1. Grado ANA (angiospermas basales): incluye linajes tempranamente divergentes como Nymphaeales y Austrobaileyales.
2. Magnólidos (≈ 140 Ma): órdenes como Laurales, Magnoliales y Piperales.
3. Monocotiledóneas: caracterizadas por un solo cotiledón; incluyen Poaceae y Orchidaceae.
4. Eudicotiledóneas: grupo más diverso, con dos cotiledones y amplia radiación adaptativa.

La diversificación acelerada ocurrió hacia el Cretácico medio y superior (≈ 100 Ma), cuando las angiospermas superaron progresivamente a las gimnospermas en diversidad y abundancia. Hacia finales del Cretácico (65–75 Ma), muchas familias actuales ya estaban establecidas.

CUADRO 2:**DIFERENCIAS ESTRUCTURALES PRINCIPALES ENTRE ANGIOSPERMAS Y GIMNOSPERMAS**

Característica	Angiospermas	Gimnospermas
Estructuras reproductivas	Producen flores; semillas protegidas dentro de un fruto	No producen flores ni frutos; semillas expuestas (generalmente en conos)
Semillas	Encerradas en el ovario	Desnudas
Hojas	Gran diversidad morfológica; frecuentemente anchas	Generalmente aciculares o escuamiformes
Polinización	Diversa: animales y viento	Principalmente anemófila
Tejido vascular	Con vasos leñosos (con raras excepciones primitivas)	Carecen de vasos verdaderos (excepto algunos gnetales)

En síntesis, la aparición de la semilla y posteriormente de la flor constituyen dos de las innovaciones evolutivas más significativas en la historia de las plantas terrestres, al permitir mayor protección embrionaria, eficiencia reproductiva y expansión ecológica global.

2.3 FACTORES EVOLUTIVOS CLAVE EN PLANTAS

La evolución y diversificación de las plantas terrestres ha estado determinada por la interacción entre innovaciones morfológicas, condiciones ambientales y disponibilidad de recursos edáficos. Estos factores han actuado de manera integrada en la configuración de estrategias adaptativas y en el éxito ecológico de los principales linajes vegetales.

2.3.1 FACTORES BOTÁNICOS

Entre las innovaciones estructurales más relevantes destacan la flor y el fruto, particularmente en angiospermas. La flor constituye una estructura especializada que optimiza la reproducción sexual mediante la atracción de polinizadores a través de señales visuales y químicas (colores, fragancias, néctar), incrementando la eficiencia reproductiva frente a la polinización exclusivamente anemófila.

El fruto, derivado del ovario floral, protege las semillas y favorece su dispersión, especialmente mediante interacciones con animales (zoocoria). Sus características morfológicas y bioquímicas —pigmentos, azúcares, compuestos aromáticos, aceites o látex— facilitan la dispersión a largas distancias, ampliando la colonización de hábitats.

2.3.2 FACTORES AMBIENTALES

La dinámica evolutiva vegetal está estrechamente vinculada a variables abióticas fundamentales:

- **Luz:** Fuente primaria de energía para la fotosíntesis; la diversidad de requerimientos lumínicos ha favorecido la diferenciación ecológica entre especies heliófitas y umbrófilas.
- **Agua:** Esencial para la germinación, el transporte de nutrientes y las reacciones metabólicas.
- **Dióxido de carbono (CO₂):** Fuente de carbono incorporada mediante los estomas durante la fotosíntesis.
- **Oxígeno (O₂):** Participa en la respiración celular.
- **Temperatura:** Regula la actividad enzimática y los procesos fisiológicos; cada especie posee rangos óptimos y límites de tolerancia.

Asimismo, la coevolución entre plantas, polinizadores y dispersores ha sido un motor central de diversificación, generando especializaciones recíprocas que incrementan la eficiencia reproductiva y promueven la radiación adaptativa.

2.3.3 FACTORES EDÁFICOS Y NUTRICIONALES

El suelo constituye el soporte físico y químico del crecimiento vegetal. Debe asegurar disponibilidad de agua, aireación y nutrientes disueltos accesibles a las raíces.

Los nutrientes minerales se clasifican en:

Macronutrientes (requeridos en grandes cantidades):

- **Nitrógeno (N):** Fundamental para proteínas y crecimiento vegetativo.
- **Fósforo (P):** Clave en transferencia energética y desarrollo radicular y reproductivo.
- **Potasio (K):** Regula el equilibrio osmótico y la resistencia al estrés.
- **Calcio (Ca):** Esencial para la estabilidad de paredes celulares.
- **Magnesio (Mg):** Componente central de la clorofila.
- **Azufre (S):** Participa en la síntesis de aminoácidos y cofactores enzimáticos.

Micronutrientes (requeridos en bajas concentraciones):

- **Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo):** Intervienen en procesos enzimáticos y metabólicos.

- Boro (B): Importante en desarrollo floral y formación de semillas.
- Cloro (Cl): Relacionado con la regulación estomática y la fotosíntesis.

En síntesis, la evolución vegetal resulta de la interacción entre innovaciones reproductivas (flor y fruto), factores ambientales reguladores y disponibilidad edáfica de nutrientes. La integración de estos componentes ha permitido la diversificación morfofuncional y la expansión global de las plantas, particularmente de las angiospermas, en múltiples ecosistemas terrestres.

2.4 COEVOLUCIÓN

La coevolución se define como el proceso mediante el cual dos o más especies que interactúan estrechamente ejercen presiones selectivas recíprocas, generando ajustes morfológicos, fisiológicos y conductuales a lo largo del tiempo evolutivo. Esta dinámica, sustentada en la selección natural, intensifica la interdependencia funcional entre los organismos involucrados y contribuye significativamente a la diversificación biológica.

En plantas con flores, la coevolución se manifiesta de manera paradigmática en las interacciones con polinizadores y dispersores de semillas. Dos procesos críticos —la polinización y la dispersión— han favorecido la formación de alianzas adaptativas con vectores animales. En este contexto, la selección sexual, entendida como el éxito diferencial en la obtención de pareja reproductiva, también desempeña un papel relevante al influir en la eficacia de transferencia de polen y en la estructura genética de las poblaciones.

Síndromes de polinización y coevolución difusa

La evidencia empírica indica que grupos funcionales de polinizadores ejercen presiones selectivas sobre los rasgos florales, configurando patrones conocidos como síndromes de polinización. Estos incluyen combinaciones recurrentes de forma, color, aroma y tipo de recompensa asociadas a determinados vectores (insectos, aves o mamíferos). No obstante, investigaciones recientes sugieren que muchas interacciones no son estrictamente exclusivas, sino que responden a esquemas de coevolución difusa, donde conjuntos de especies interactúan de manera flexible dentro de redes ecológicas complejas.

Mecanismos de atracción y especialización

Las plantas despliegan múltiples señales para atraer vectores:

- Señales visuales: colores específicos asociados a distintos grupos (rojos y fucsias para aves nectarívoras; amarillos y azules para abejas; blancos o cremas para polillas y murciélagos).
- Señales químicas: compuestos orgánicos volátiles, fragancias dulces o incluso olores fétidos que atraen dípteros y coleópteros.

- **Recompensas nutritivas:** néctar rico en azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa), lípidos o resinas.
- **Adaptaciones estructurales:** flores tubulares, espolones nectaríferos, anteras poricidas o morfologías especializadas.

Estas características deben coincidir con la capacidad sensorial y morfológica del vector (visión cromática, sensibilidad olfativa, longitud de probóscide o pico), lo que evidencia ajustes recíprocos.

Evidencia experimental y ejemplos

Estudios experimentales en *Aquilegia* (Ranunculaceae) muestran que variaciones en la longitud y orientación de los espolones nectaríferos pueden modificar el tipo de polinizador predominante, promoviendo divergencia morfológica y especiación. Asimismo, la polinización por zumbido (buzz pollination), observada en géneros como *Solanum* — que incluye *Solanum tuberosum* — evidencia comportamientos especializados de abejas capaces de liberar polen mediante vibración.

En el contexto andino, *Cantua buxifolia* presenta flores tubulares y péndulas asociadas a polinización por colibríes, cuyos picos y capacidad de vuelo estacionario permiten la transferencia eficaz de polen. De igual modo, especies forestales como *Cordia alliodora* exhiben heterostilia, mecanismo que favorece la exogamia y reduce la autofecundación mediante diferencias en la disposición de estambres y estigmas.

Implicancias evolutivas

La coevolución promueve:

1. Especialización morfológica y conductual.
2. Aislamiento reproductivo y especiación.
3. Diversificación adaptativa en redes ecológicas.

En síntesis, la coevolución constituye un motor central de la radiación de las angiospermas y de numerosos grupos animales asociados, configurando sistemas de interacción complejos donde selección natural, selección sexual y redes ecológicas operan de manera integrada.

2.4.1 ELEMENTOS ECOEVOLUTIVOS DE LAS PLANTAS

2.4.1.1 ADAPTACIÓN AL ENTORNO TERRESTRE:

Las plantas que habitan la tierra (embriófitos) evolucionaron a partir de algas verdes en el Paleozoico, gracias a su capacidad de sobrevivir fuera del agua, lo que incluye la retención

del embrión y la formación de estructuras como raíces y estomas.

2.4.1.2 DUPLICACIÓN DEL MATERIAL GENÉTICO:

La duplicación total del genoma ha sido un factor crucial en la evolución de las plantas, resultando en la conservación de genes reguladores que afectan la morfogénesis y la complejidad de las redes de control.

2.4.1.3 RELACIONES CON EL ENTORNO:

Las plantas han creado mecanismos de defensa frente a organismos biológicos (insectos, virus, bacterias y hongos) y físicas (sequías, inundaciones, salinidad y temperaturas extremas). La luz, a través del fotoperiodo, es un elemento ambiental que impacta directamente su desarrollo y procesos metabólicos.

2.4.1.4 SIMBIOSIS:

La teoría de la simbiosis indica que las plantas primitivas se beneficiaron de asociaciones simbióticas con hongos para establecerse en tierra y con bacterias para el origen de cloroplastos y mitocondrias

2.5 TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD EN LA EVOLUCIÓN VEGETAL

La teoría de la complejidad proporciona un marco conceptual para comprender la evolución vegetal como un proceso emergente derivado de interacciones no lineales entre múltiples componentes biológicos y ambientales.

2.5.1 REDES DE CONTROL

La complejidad estructural y funcional de las plantas se explica, en parte, por la existencia de redes reguladoras génicas y señales hormonales que coordinan la actividad de los meristemos. Estas redes integran información interna y externa, permitiendo respuestas dinámicas frente a variaciones ambientales. La interacción entre factores de transcripción, fitohormonas y señales ambientales configura sistemas de control capaces de modular el crecimiento, la diferenciación y la arquitectura vegetal.

2.5.2 EMERGENCIA DE LA COMPLEJIDAD

Desde esta perspectiva, los organismos vegetales emergen como sistemas complejos a partir de la interacción recíproca entre elementos relativamente simples, como genes y ambiente. Estas interacciones generan propiedades emergentes —organización tisular, patrones morfológicos y plasticidad funcional— que no pueden explicarse únicamente por la suma de sus partes. La retroalimentación continua entre genotipo y entorno favorece la diversificación adaptativa a lo largo del tiempo evolutivo.

2.5.3 MECANISMOS EVOLUTIVOS Y DIMENSIÓN GEO-BIOLÓGICA

Los principios de la complejidad complementan los mecanismos evolutivos clásicos —deriva génica, flujo génico, mutación y selección natural— al enfatizar cómo sus interacciones generan patrones dinámicos de biodiversidad.

Un proceso análogo de complejización ocurre en el ámbito mineral. Los primeros minerales terrestres correspondieron a configuraciones atómicas altamente estables que constituyeron la base para generaciones posteriores más diversas. Esta evolución mineral, desarrollada durante aproximadamente 4.500 millones de años, incrementó progresivamente la diversidad geoquímica, creando condiciones propicias para la aparición y evolución de la vida.

La evolución biológica y la mineral están interrelacionadas: los organismos animales incorporan minerales en estructuras como conchas, huesos y dientes, mientras que las plantas dependen de ellos para procesos esenciales como la fotosíntesis, la constitución celular y el soporte estructural. Así, los procesos físicos, químicos y biológicos han coevolucionado, incrementando la complejidad tanto del sistema terrestre como de la biosfera.

2.6 PLASTICIDAD FENOTÍPICA

El fenotipo comprende los rasgos observables de un organismo —tamaño, forma, color, estructura y características funcionales— resultantes de la interacción entre el genotipo y el ambiente. Desde la teoría de la complejidad, la plasticidad fenotípica adaptativa se define como la capacidad de un mismo genotipo para producir diferentes fenotipos en respuesta a condiciones ambientales variables.

En plantas, estas respuestas pueden activarse por factores como disponibilidad de luz o agua, temperatura, competencia o herbivoría. Dichos ajustes mejoran la supervivencia y el éxito reproductivo sin implicar cambios en la secuencia de ADN; por tanto, constituyen modificaciones fenotípicas no equivalentes a evolución genética. No obstante, la plasticidad en sí misma puede ser objeto de selección natural y evolucionar como rasgo adaptativo.

Escalas de análisis del valor adaptativo

El valor adaptativo de la plasticidad fenotípica puede evaluarse en tres niveles:

1. Nivel individual (ecofisiológico): análisis de la funcionalidad de las respuestas plásticas en términos de desempeño y tolerancia ambiental.
2. Nivel poblacional (ecología evolutiva): estudio de la relación entre norma de reacción y éxito reproductivo de los genotipos frente a variabilidad ambiental.
3. Nivel de especie (ecología clásica): evaluación del papel de la plasticidad en los patrones de distribución y amplitud ecológica.

Asimismo, la plasticidad puede fortalecerse mediante componentes estocásticos que generan heterogeneidad fenotípica dentro de las poblaciones. La variación genética intraespecífica puede originar ecotipos adaptados a microhábitats particulares, mecanismo especialmente relevante en plantas, cuya movilidad limitada impide la migración activa hacia ambientes más favorables.

2.7 MECANISMOS DE ADAPTACIÓN EN PLANTAS

Los mecanismos de adaptación vegetal comprenden procesos estructurales y funcionales que permiten a las plantas ajustarse a la heterogeneidad ambiental mediante modificaciones fenotípicas reguladas por la interacción entre factores genéticos y condiciones externas.

2.7.1 RESPUESTA AL ENTORNO

La adaptación se manifiesta como la capacidad de las plantas para modificar su morfología y fisiología en función de las condiciones ambientales. Por ejemplo, en suelos con baja disponibilidad hídrica pueden desarrollar sistemas radicales más profundos o extensos, mientras que en ambientes con limitada radiación lumínica pueden incrementar el área foliar para optimizar la captación de luz. Estas respuestas permiten mantener el balance hídrico, la eficiencia fotosintética y el rendimiento reproductivo.

2.7.2 INTERACCIÓN GENOTIPO—AMBIENTE ($G \times E$)

El desarrollo fenotípico resulta de la interacción entre el genotipo y el ambiente. Si bien la información genética establece un rango potencial de respuestas, es el entorno el que modula la activación diferencial de vías de desarrollo, produciendo un fenotipo específico (estructura, tamaño, coloración, arquitectura radical y foliar, eficiencia en el uso del agua, entre otros rasgos).

La variación en la magnitud y dirección de estas respuestas entre distintos genotipos se denomina interacción genotipo—ambiente ($G \times E$), fenómeno clave para comprender la

diversidad intraespecífica y la capacidad adaptativa de las poblaciones.

2.7.3 VENTAJA EVOLUTIVA

La plasticidad fenotípica adaptativa puede ser favorecida por la selección natural cuando incrementa la aptitud biológica en ambientes variables. Esta capacidad amplía el rango ecológico potencial de las especies, facilita la colonización de nuevos hábitats y contribuye a la persistencia frente a escenarios de cambio ambiental, incluido el cambio climático.

2.7.4 RELEVANCIA EN ORGANISMOS SÉSILES

Dado que las plantas son organismos sésiles, su supervivencia depende fundamentalmente de ajustes locales más que de desplazamientos. En este contexto, la plasticidad fenotípica constituye un mecanismo compensatorio esencial frente a fluctuaciones ambientales espaciales y temporales.

2.7.5 IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y AGRÍCOLA

La comprensión de la plasticidad fenotípica es fundamental para predecir patrones de distribución vegetal y dinámicas comunitarias. En el ámbito agrícola, permite seleccionar y desarrollar cultivares con mayor flexibilidad fisiológica y estabilidad productiva, optimizando el rendimiento bajo condiciones ambientales variables.

2.8 DISCUSIÓN

Los resultados permiten ampliar la concepción darwiniana clásica de supervivencia, entendida como éxito reproductivo diferencial, integrándola en un marco de complejidad biológica. En este contexto, la dinámica evolutiva puede interpretarse como la interacción de tres funciones fundamentales: (i) estabilidad estructural, asociada a configuraciones atómicas y moleculares persistentes; (ii) sistemas dinámicos abiertos con flujo continuo de energía; y (iii) generación de novedad, entendida como exploración de nuevas configuraciones funcionales. Esta última se vincula con la denominada “ley del incremento de la información funcional”, que postula una tendencia al aumento de complejidad tanto en sistemas vivos como no vivos a lo largo del tiempo geológico.

Génesis, ontogénesis y formación de especies

En respuesta a la pregunta sobre cómo la génesis y la ontogénesis impulsan la integración y selección de especies en asociaciones vegetales, los hallazgos indican que la formación de especies resulta de la interacción entre procesos ontogenéticos (desarrollo, diferenciación,

regulación génica y epigenética) y procesos filogenéticos (mutación, variación heredable, selección natural y coevolución). La teoría celular, la genética y la epigenética sustentan este ensamblaje biológico, mientras que la teoría de la complejidad explica cómo redes moleculares y hormonales generan propiedades emergentes en organismos y comunidades forestales.

Mecanismos de diversidad en el tiempo geológico

Respecto a los mecanismos que rigen la diversidad a escala geológica, se distinguen dos niveles complementarios:

1. Microevolución, asociada a cambios genéticos en poblaciones a corto plazo.
2. Macroevolución, relacionada con procesos de especiación y diversificación de linajes a lo largo de millones de años.

Factores ecológicos como clima, fuego, disponibilidad hídrica, luz y competencia han modelado estos procesos, junto con migraciones, refugios biogeográficos y adaptaciones progresivas o extinciones.

Coevolución planta–animal

La interacción planta–animal se interpreta como un proceso coevolutivo, frecuentemente mutualista y especializado, en el que ajustes morfológicos y conductuales optimizan la transferencia de polen y la dispersión de semillas. Adaptaciones florales —forma, color, néctar y simetría— se ajustan a la anatomía y comportamiento de los polinizadores, generando relaciones de interdependencia funcional. Este proceso incrementa la eficacia reproductiva y contribuye a la diversificación taxonómica.

Plasticidad y mecanismos ontogénicos

Desde la perspectiva de la complejidad, la plasticidad fenotípica constituye un mecanismo ontogénico central que permite variaciones en la expresión génica sin modificar la secuencia de ADN. Cambios en la regulación transcripcional, ajustes hormonales y modificaciones metabólicas posibilitan respuestas rápidas frente a perturbaciones ambientales. Estos mecanismos favorecen la adaptación inmediata y pueden ser objeto de selección natural.

Ensamblaje de especies en ecosistemas forestales

El ensamblaje de individuos y especies en ecosistemas forestales responde a procesos dinámicos que incluyen:

- sucesión ecológica y competencia por recursos;
- filtros ambientales (clima, suelo, topografía);
- perturbaciones naturales o antrópicas;
- interacciones bióticas (redes tróficas, mutualismos, dispersión de semillas);

- organización estructural en estratos verticales y horizontales.

Estos factores determinan la composición, estructura y funcionalidad de las comunidades, generando nichos que permiten la coexistencia mediante partición de recursos.

Robustez biológica y estabilidad funcional

La robustez biológica describe la capacidad de mantener la funcionalidad y estabilidad fenotípica frente a perturbaciones genéticas o ambientales. Incluye:

- robustez mutacional, mediada por redes amortiguadoras;
- robustez ambiental, asociada a procesos de canalización;
- robustez funcional, que preserva la homeostasis fisiológica.

Estos mecanismos permiten la acumulación de variación genética críptica y facilitan adaptaciones futuras.

Implicancias para la biología forestal

Desde un enfoque de complejidad, la biología forestal integra niveles que abarcan desde la regulación molecular hasta la dinámica ecosistémica. La comprensión de estos procesos es esencial para la conservación, el manejo sostenible y la mejora genética, así como para valorar los servicios ecosistémicos que proveen los bosques.

En conjunto, la discusión confirma que la biodiversidad actual es el resultado de interacciones multiescalares entre génesis, ontogénesis, filogénesis y procesos ecológicos, en un sistema dinámico donde estabilidad, energía y novedad actúan como fuerzas estructurantes de la evolución.

3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la problemática abordada en esta investigación presenta una relación directa y consistente entre los factores analizados y las variables de estudio, cumpliéndose el objetivo general planteado. El análisis integral evidencia que los fenómenos examinados no ocurren de manera aislada, sino que responden a una interacción compleja de procesos estructurales, funcionales y contextuales previamente definidos en las preguntas de investigación.

En relación con los objetivos específicos, se constató que cada uno de los componentes estudiados contribuye significativamente a la comprensión del fenómeno central. Las subpreguntas permitieron desagregar el problema en dimensiones analíticas concretas, facilitando la identificación de patrones, regularidades y posibles mecanismos explicativos. Esta aproximación sistemática fortaleció la validez interna del estudio y aseguró coherencia metodológica entre planteamiento, análisis e interpretación.

Asimismo, los hallazgos confirman que las variables consideradas presentan comportamientos diferenciados según el contexto evaluado, lo que evidencia la importancia de incorporar enfoques multidimensionales en investigaciones futuras. La consistencia entre los resultados empíricos y el marco teórico respalda las hipótesis implícitas derivadas de las preguntas de investigación.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados aportan fundamentos sólidos para la toma de decisiones en el ámbito correspondiente, ya que permiten anticipar escenarios, optimizar estrategias y orientar intervenciones con base en evidencia científica. De igual forma, se identifican líneas de investigación complementarias que podrían ampliar la comprensión del fenómeno y profundizar en aspectos no explorados exhaustivamente en el presente estudio.

REFERENCIAS

- Andersson, S., & Shaw, R. G. (1994). Phenotypic plasticity in *Crepis tectorum* (Asteraceae): Genetic correlations across light regimens. *Heredity*, 72, 113–125. <https://doi.org/10.1038/hdy.1994.17>
- Antonovics, J. (1971). Heavy metal tolerance in plants. *Advances in Ecological Research*, 7, 1–85. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60232-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60232-0)
- Arce, R. (2025). Los prefijos bio y eco y su relación con las ciencias forestales. *Revista Forestal del Perú*, 40(19), 4–19. <https://doi.org/10.21704/rfp.v40i1.1278>
- Baskauf, C. J., & Eickmeier, W. G. (1994). Comparative ecophysiology of a rare and a widespread species of Echinacea (Asteraceae). *American Journal of Botany*, 81, 958–964.
- Bennington, C. C., & McGraw, J. B. (1995). Natural selection and ecotypic differentiation in *Impatiens pallida*. *Ecological Monographs*, 65, 303–323.
- Bennington, C. C., Fetcher, N., Vavrel, M., Shaver, G. R., Cummings, K. J., & McGraw, J. B. (2012). Home site advantage in two long-lived arctic plant species: results from two 30-year reciprocal transplant studies. *Journal of Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.01984.x>
- Black-Samuelsson, S., & Andersson, S. (1997). Reaction norm variation between and within populations of two rare plant species, *Vicia pisiformis* and *V. dumetorum* (Fabaceae). *Heredity*, 79, 268–276. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6882120>
- Bradshaw, A. D., & Hardwick, K. (1989). Evolution and stress-genotypic and phenotypic components. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37, 137–155. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1989.tb02099.x>
- Castro Sáez, B. (2011). Aportes de Niklas Luhmann a la teoría de la complejidad. *Polis*, (29). <http://journals.openedition.org/polis/2017>
- Chapin, F. S. (1991). Integrated responses of plants to stress. *Bioscience*, 41, 29–36. <https://doi.org/10.2307/1311538>
- Chapin, F. S., & Chapin, M. C. (1981). Ecotypic differentiation of growth processes in *Carex aquatilis* along latitudinal and local gradients. *Ecology*, 62, 1000–1009.
- Cipollini, D. F., & Schultz, J. C. (1999). Exploring cost constraints on stem elongation in plants using phenotypic manipulation. *American Naturalist*, 153, 236–242. <https://doi.org/10.1086/303164>
- Cordell, S., Goldstein, G., Mueller-Dombois, D., Webb, D., & Vitousek, P. M. (1998). Physiological and morphological variation in *Metrosideros polymorpha*, a dominant Hawaiian tree species, along an altitudinal gradient: The role of phenotypic plasticity. *Oecologia*, 113, 188–196. <https://doi.org/10.1007/s004420050367>
- Crawley, M. J. (1997). Life history and environment. En M. J. Crawley (Ed.), *Plant ecology* (pp. 73–131). Blackwell.
- De Jong, G. (1995). Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. *American Naturalist*, 145, 493–512.

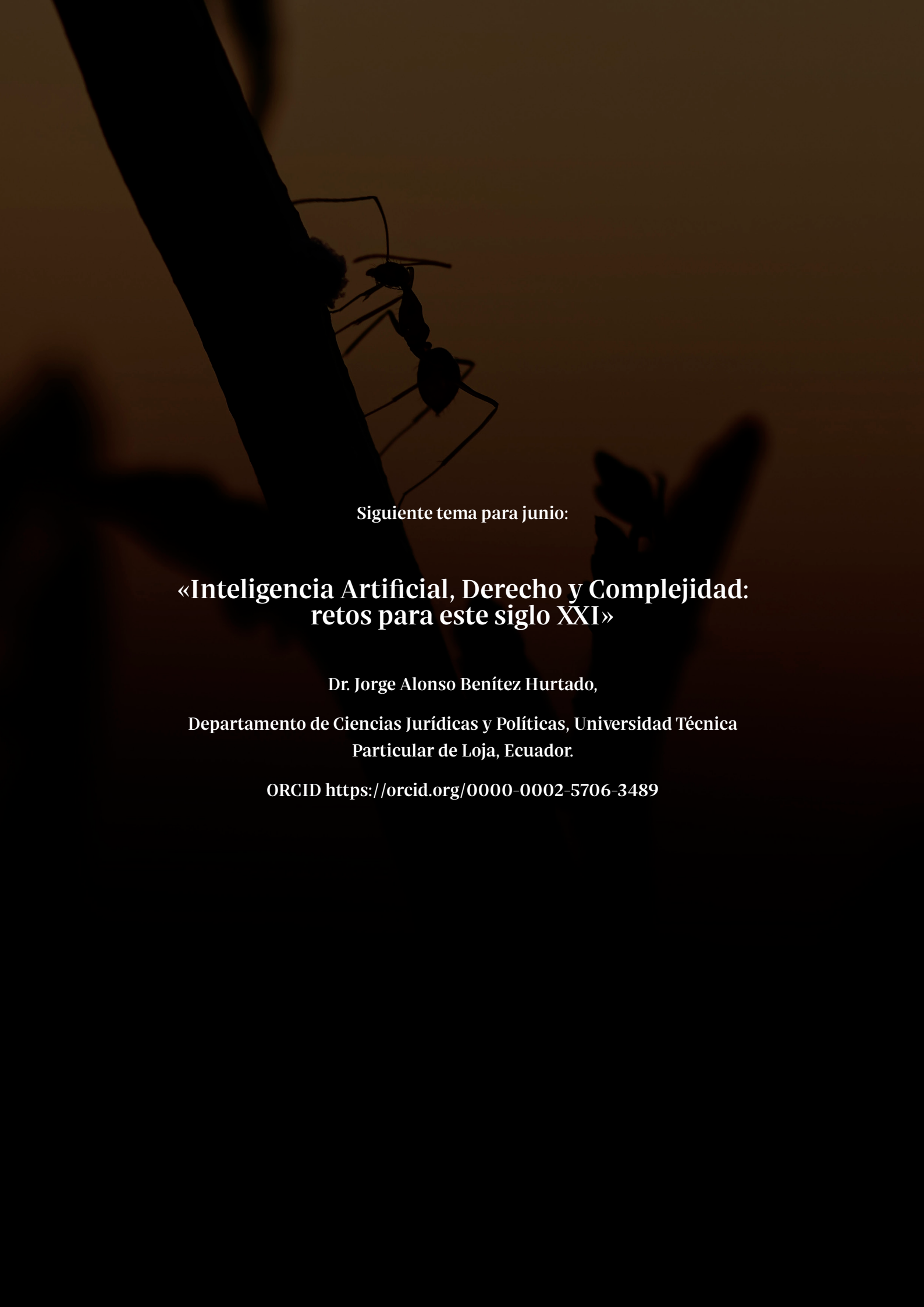
REFERENCIAS

- Dieguez, A. (2003). ¿Qué es la Epistemología Evolucionista? Teleskop. Ciencia en perspectiva filosófica. https://www.researchgate.net/publication/228648400_Que_es_la_Epistemologia_Evolucionista
- Dudley, S. A., & Schmitt, J. (1996). Testing the adaptive plasticity hypothesis: Density-dependent selection on manipulated stem length in *Impatiens capensis*. *American Naturalist*, 147, 445–465. <https://doi.org/10.1086/285863>
- Futuyma, D. J., & Moreno, G. (1988). The evolution of ecological specialization. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 19, 207–233.
- Galen, C., Shore, J. S., & Deyoe, H. (1991). Ecotypic divergence in alpine *Polemonium viscosum*: Genetic structure, quantitative variation, and local adaptation. *Evolution*, 45, 1218–1228.
- Gavrillets, S., & Scheiner, S. M. (1993). The genetics of phenotypic plasticity. V. Evolution of reaction norm shape. *Journal of Evolutionary Biology*, 6, 31–48.
- Gianoli, E. (2001). Lack of differential plasticity to shading of internodes and petioles with growth habit in *Convolvulus arvensis* (Convolvulaceae). *International Journal of Plant Sciences*, 162, 1247–1252.
- Gianoli, E. (2003). Phenotypic responses of the twining vine *Ipomoea purpurea* (Convolvulaceae) to physical support availability in sun and shade. *Plant Ecology*, 165, 21–26.
- Gianoli, E. (2004a). Plasticidad Fenotípica Adaptativa en Plantas. En *Fisiología Ecológica en Plantas* (pp. 13–25). Universidad de Concepción. <http://www2.udec.cl/~egianoli/04gianolifisioeco.pdf>
- Gianoli, E. (2004b). Evolution of a climbing habit promotes diversification in flowering plants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2827>
- Gomulkiewicz, R., & Kirkpatrick, M. (1992). Quantitative genetics and the evolution of reaction norms. *Evolution*, 46, 390–411.
- Grace, J. (1997). Plant water relations. En M. J. Crawley (Ed.), *Plant ecology*. Blackwell.
- Hutchings, M. J., & De Kroon, H. (1994). Foraging in plants: The role of morphological plasticity in resource acquisition. *Advances in Ecological Research*, 25, 159–238.
- Jaune, L. A. (2013). Contenido y conocimiento animal en la epistemología naturalizada de Fre Dretske (Tesis de pregrado, Universidad de las Islas Baleares).
- Larcher, J., Wagner, G., Neuner, M., Méndez, M., Jiménez, M. S., & Morales, D. (1991). Thermal limits of photosynthetic function and viability of leaves of *Persea indica* and *Persea americana*. *Acta Oecologica*, 12, 529–541.
- Li, B., Suzuki, J., & Hara, T. (1998). Latitudinal variation in plant size and relative growth rate in *Arabidopsis thaliana*. *Oecologia*, 115, 293–301.
- Linhart, Y. B., & Grant, M. C. (1996). Significance of local genetic differentiation in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27(1), 237–277. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.27.1.237>

- Luhmann, N. (1998). Complejidad y modernidad: De la unidad a la diferencia. Editorial Trotta.
- MacDonald, S. E., & Chinnappa, C. C. (1989). Population differentiation for phenotypic plasticity in the *Stellaria longipes* complex. *American Journal of Botany*, 76, 1627–1637.
- Marcelo, G. F. (2014). Biología del comportamiento- 090- desarrollo individual. análisis de la ontogenia del comportamiento. Facultad de Psicología, Universidad de Buenos Aires.
- Masis, I. K. (2023). La Epistemología evolucionista y el conocimiento según Platón. Escuela de Filosofía, Universidad de Costa Rica.
- Nilsson, T. (1995). Phenotypic plasticity in *Saxifraga osloensis*: Comparisons among populations. *Acta Botanica Neerlandica*, 44, 453–467.
- Novak, S. J., Mack, R. N., & Soltis, D. E. (1991). Genetic variation in *Bromus tectorum* (Poaceae): Population differentiation in its North American range. *American Journal of Botany*, 78, 1150–1161.
- Peres, D. G. (1993). Historia y Epistemología de las Ciencias. Contribucion de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. Universidad de Valencia.
- Pigliucci, M. (1996). How organisms respond to environmental changes: From phenotypes to molecules (and vice versa). *Trends in Ecology & Evolution*, 11, 168–173.
- Pigliucci, M., Whitton, J., & Schlichting, C. D. (1995). Reaction norms of *Arabidopsis*. I. Plasticity of characters and correlations across water, nutrient and light gradients. *Journal of Evolutionary Biology*, 8, 421–438.
- Ravanal, M. E., Quintanilla, G. M., & Labarrere, S. A. (s.f.). Concepciones epistemológicas del profesorado de biología en ejercicio sobre la enseñanza de la biología. Universidad Central Santa Isabel.
- Sala, A., & Nowak, R. S. (1997). Ecophysiological responses of three riparian graminoids to changes in the soil water table. *International Journal of Plant Sciences*, 158, 835–843.
- Scheiner, S. M. (1993). Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 24, 35–68.
- Scheiner, S. M. (1998). The genetics of phenotypic plasticity. VII. Evolution in a spatially-structured environment. *Journal of Evolutionary Biology*, 11, 303–320.
- Scheiner, S. M., & Callahan, H. S. (1999). Measuring natural selection on phenotypic plasticity. *Evolution*, 53, 1704–1713.
- Scheiner, S. M., & Lyman, R. F. (1991). The genetics of phenotypic plasticity. II. Response to selection. *Journal of Evolutionary Biology*, 4, 23–50.
- Scheiner, S. M., & Yampolsky, L. Y. (1998). The evolution of *Daphnia pulex* in a temporally varying environment. *Genetical Research*, 72, 25–37.
- Schlichting, C. D., & Pigliucci, M. (1995). Lost in phenotypic space: Environment-dependent morphology in *Phlox drummondii* (Polemoniaceae). *International Journal of Plant Sciences*, 156, 542–546.

REFERENCIAS

- Schlichting, C. D., & Pigliucci, M. (1998). Phenotypic evolution: A reaction norm perspective. Sinauer Associates.
- Schmalhausen, I. I. (1949). Factors of evolution: The theory of stabilizing selection. Blakiston.
- Schmitt, J., Dudley, S. A., & Pigliucci, M. (1999). Manipulative approaches to testing adaptive plasticity: Phytochrome-mediated shade-avoidance responses in plants. *American Naturalist*, 154, S43–S54.
- Schmitt, J., McCormac, A. C., & Smith, H. (1995). A test of the adaptive plasticity hypothesis using transgenic and mutant plants disabled in phytochrome-mediated elongation responses to neighbors. *American Naturalist*, 146, 937–953.
- Schweitzer, J. A., & Larson, K. C. (1999). Greater morphological plasticity of exotic honeysuckle species may make them better invaders than native species. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 126, 15–23.
- Sultan, S. E. (1995). Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Botanica Neerlandica*, 44, 363–383.
- Sultan, S. E. (2001). Phenotypic plasticity for fitness components in *Polygonum* species of contrasting ecological breadth. *Ecology*, 82, 328–343.
- Sultan, S. E., & Bazzaz, F. A. (1993a). Phenotypic plasticity in *Polygonum persicaria*. I. Diversity and uniformity in genotypic norms of reaction to light. *Evolution*, 47, 1009–1031.
- Sultan, S. E., & Bazzaz, F. A. (1993c). Phenotypic plasticity in *Polygonum persicaria*. III. The evolution of ecological breadth for nutrient environment. *Evolution*, 47, 1050–1071.
- Thompson, J. D. (1991). Phenotypic plasticity as a component of evolutionary change. *Trends in Ecology & Evolution*, 6, 246–249. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(91\)90070-E](https://doi.org/10.1016/0169-5347(91)90070-E)
- Tucic, B., Tomi, V., Avramov, S., & Pemac, D. (1998). Testing the adaptive plasticity of *Iris pumila* leaf traits to natural light conditions using phenotypic selection analysis. *Acta Oecologica*, 19, 473–481.
- Tufto, J. (2000). The evolution of plasticity and nonplastic spatial and temporal adaptations in the presence of imperfect environmental cues. *American Naturalist*, 156, 121–130. <https://doi.org/10.1086/303381>
- Van Tienderen, P. H. (1991). Evolution of generalists and specialists in spatially heterogeneous environments. *Evolution*, 45, 1317–1331.
- Van Tienderen, P. H. (1997). Generalists, specialists, and the evolution of phenotypic plasticity in sympatric populations of distinct species. *Evolution*, 51, 1372–1380.
- Via, S., Gomulkiewicz, R., De Jong, G., Scheiner, S. M., Schlichting, C. D., & Van Tienderen, P. H. (1995). Adaptive phenotypic plasticity: Consensus and controversy. *Trends in Ecology & Evolution*, 10, 212–217. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)89061-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)89061-8)
- Weber, E., & Schmid, B. (1998). Latitudinal population differentiation in two species of *Solidago* (Asteraceae) introduced into Europe. *American Journal of Botany*, 85, 1110–1121.

A dark silhouette of an ant is positioned on a diagonal branch that runs from the top left towards the center of the frame. The background is a solid, dark brown color. The ant is facing right, with its legs and antennae clearly visible against the lighter background.

Siguiente tema para junio:

**«Inteligencia Artificial, Derecho y Complejidad:
retos para este siglo XXI»**

Dr. Jorge Alonso Benítez Hurtado,

**Departamento de Ciencias Jurídicas y Políticas, Universidad Técnica
Particular de Loja, Ecuador.**

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5706-3489>



Una obra de los Hermanos de La Salle

#30 años

de experiencia en educación