

Trabajo Fin de Máster

*Aproximación a la Teoría Gaia Orgánica
Una propuesta de Carlos de Castro*

*Approach to Gaia Organic Theory
A proposal by Carlos de Castro*

Autor/es
Javier Aguilar Martínez

Director/es
Dra. Gemma del Olmo Campillo (UNIZAR)
Dr. Diego J. García Capilla (UMU)

Facultad de Filosofía y Letras
2023/2024

Agradecimientos a:

*Carlos de Castro y
Jorge Riechmann*

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN.....	1
1.- DOS RETOS ÉTICO-POLÍTICOS QUE NOS INCLINAN HACIA GAIA.....	3
1.1 El diagnóstico de colapso	3
1.2 debate entre ética animal y ecológica. ¿perspectiva gaiana para su superación?.....	7
2. LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA DE LA TEORÍA GAIA ORGÁNICA.....	9
2.1 Perspectiva holista y concepción de la ciencia	9
2.2 Antropocentrismo, tecnología y teleología.....	13
2.2.1 En torno a la teleología.....	15
3. TEORÍAS DE LA EVOLUCIÓN EN EL MARCO MECANICISTA	17
3.1 J. B. Lamarck.....	18
3.2 CH. Darwin	18
3.3 Neodarwinismo.....	19
3.4 De la competencia a la cooperación.....	21
3.5 La simbiogénesis de L. Margulis	22
4. TENSIÓN ENTRE DARWINISMOS Y TEORÍAS GAIANAS EN LOS CONCEPTOS DE “ADAPTACIÓN” Y “TECNOLOGÍA”	24
5. LA TEORÍA GAIA ORGÁNICA.....	29
5.1 Diversas teorías Gaia	29
5.2 Debate sobre el concepto de organismo: la Gaia Orgánica	29
5.3 Base termodinámica de la tgo: sistemas dinámicos disipativos y la entropía	31
5.4 Neolamarckismo en la TGO.....	34
5.5 Complejidad, tiempo y evolución de Gaia	35
5.6 Origen de Gaia y superación de los límites por coordinación y reciclado	38
5.7 Realimentaciones y rasgos de Gaia Orgánica.....	40
6. FRENTE AL COLAPSO GAIA ORGÁNICA	45
7. IDEAS ÉTICAS DE LA COSMOVISIÓN GAIA ORGÁNICA.....	49
CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS	54

JUSTIFICACIÓN

Nuestro Trabajo de Fin de Máster (TFM), *Aproximación a la Teoría Gaia Orgánica. Una propuesta de Carlos de Castro*, culmina las inquietudes filosóficas personales sobre ética animal y ecológica que han sido expresadas a lo largo del curso en trabajos de diversas asignaturas. Y lo hace desde un giro abrupto en nuestro pensamiento iniciado por una pregunta: ¿Qué teoría sobre los seres vivos puede ofrecer un marco teórico para una ética no antropocéntrica, amplia e integradora? Este TFM procede de la necesidad de investigar el marco científico de la Teoría Gaia Orgánica (TGO) para buscar un posible fundamento ético.

La primera hipótesis Gaia procede de James Lovelock y Lynn Margulis.¹ Aunque existen distintos desarrollos de la misma, cabe indicar que en general comparten la idea de que Gaia —la biosfera— refiere a los procesos por los que los seres vivos llegan a generar con su propia actividad las condiciones favorables para su propia vida, complementando al concepto de adaptación de las teorías darwinistas. Gaia subraya el papel de la vida para generar estados de equilibrio dinámico en aspectos como la temperatura del planeta, la salinidad de los mares, la acidez de los suelos y los ciclos del agua y otros elementos químicos.

La Teoría Gaia Orgánica del profesor Carlos de Castro Carranza, nos ofrece un nuevo paradigma para la biología, la ecología, y las ciencias de la Tierra —entre otras— con importantes implicaciones filosóficas y éticas de las que el autor da algunas pinceladas que apuntan a la elaboración de éticas más allá del antropocentrismo y capaces de articular respuestas ético-políticas globales a la crisis ecosocial que nos rodea.²

Nuestro TFM se propone investigar la Teoría Gaia Orgánica, esto es, conocer la teoría de Carlos de Castro como teoría evolutiva. El autor abre importantes discusiones para la filosofía y la ética que requerirían amplio desarrollo y podrían ser objeto de futuros trabajos. En este trabajo nos centraremos en la lectura de las dos obras en las que De Castro elabora la TGO: *El origen de Gaia. Una teoría holista de la evolución*³ y *Reencontrando a Gaia. A*

¹ En los setenta del pasado siglo el químico de la Nasa y la distinguida bióloga publicaron dos artículos con ideas sobre la hipótesis Gaia. Lovelock les dio mayor consistencia en *Gaia: una nueva visión de la vida sobre la Tierra*, publicada en 1976. Crf. Lovelock, J., [1988], *Las edades de Gaia. Una biografía de nuestro planeta vivo*, Metatemas 29, Barcelona, 2000.

² De Castro es profesor de Física Aplicada en la Universidad de Valladolid y trabaja en el Grupo de Energía Economía y Dinámica de Sistemas (GEEDS). Estudia el modelado y análisis de los límites biofísicos del planeta (energía, cambio climático, pérdida de diversidad, etc.) respecto a nuestra forma de vida; e investiga las teorías de Gaia y sus consecuencias con idea de repensar civilizaciones sostenibles. UVA. Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas, en: <https://geeds.es/project/carlos-de-castro-carranza/>, (visitado: 1/08/2024). Además, imparte docencia sobre Gaia en el Máster de Formación Permanente en Humanidades Ecológicas, Sustentabilidad y Transición Ecosocial Interuniversitario de la Universidad Autónoma de Madrid y la Universidad Politécnica de Valencia.

³ De Castro, C., [2008], *El origen de Gaia. Una teoría holista de la evolución*, Libros en acción, Madrid, 2020.

*hombros de James Lovelock y Lynn Margulis.*⁴ La metodología que utilizaremos consiste en la lectura de las obras, exposición y análisis de la Teoría Gaia Orgánica del autor vallisoletano, siguiendo una estructura de siete bloques temáticos: 1) dos retos que nos inclinan hacia Gaia: el colapso y la superación del debate entre ética animal y ecológica —motivaciones para explorar la Gaia orgánica—; 2) la filosofía de la ciencia en la TGO; 3) las teorías de la evolución en el marco mecanicista; 4) la tensión entre los conceptos de “adaptación” y “tecnología” entre darwinismos y Gaia 5) la exposición de la TGO; 6) Gaia orgánica frente al colapso, y por último,⁷) ideas filosóficas y éticas apuntadas por de Castro⁵ para una cosmovisión de Gaia orgánica.

A modo de introducción preliminar, diremos que la TGO para explicar el fenómeno de la vida en la Tierra, se enmarca en un paradigma holista y organicista frente al mecanicismo y reduccionismo analítico, originado en la Modernidad. La TGO se elabora con la termodinámica de sistemas abiertos, en la que la ley de la entropía ocupa un lugar fundamental al propiciar la dispersión o disipación de energía. Los organismos vivos son vistos como sistemas que cumplen más rápidamente con la dispersión de la energía, materia e información, lo que los hace estables. Siguen un incremento de complejidad y múltiples caminos hasta llegar a Gaia como el organismo mayor del sistema Tierra. La TGO se propone integrada en la evolución del Universo y, por tanto, con el tiempo de la vida en la Tierra. La discusión sobre el concepto de “organismo” es clave en la argumentación de De Castro. Se describe a partir de la estructura tripartita de los sistemas dinámicos abiertos y comprendidos desde la teoría de la endosimbiosis seriada de Lynn Margulis. El lector/a tiene que dejar de lado por un momento su concepción de organismo y entrar en la propuesta gaiana en la que que, en último término, Gaia constituye el organismo mayor al que todos los demás supeditan sus propósitos o *telos* —el autor defiende la operatividad de la teleología en las explicaciones de la biología—. Para argumentar sobre el papel determinante de Gaia sobre la vida, se vale del uso de modelos matemáticos y su representación gráfica; y, desde el ámbito de la biología, además de la simbiogénesis, de fenómenos como la apoptosis, y la transferencia de genes a nivel bacteriano y viral. Estos son importantes pilares científicos para la TGO.

⁴ De Castro, C., [2019], *Reencontrando a Gaia. A hombros de James Lovelock y Lynn Margulis*, Ediciones del Genal, Málaga, 2019.

⁵ De Castro asume el reto de elaborar un tejido filosófico, ético y estético que abone el fundamento de la TGO, abriendo una cosmovisión novedosa. También desde la literatura y bajo el pseudónimo de Érawan Aerlín, ha explorado la teoría Gaia orgánica, superando las barreras de las limitaciones científicas. Cfr. Aerlín, E., *El oráculo de Gaia*, Bubok, 2011, y, IV. 2^a Parte de *El oráculo de Gaia*, Touda & Ediciones del Genal, Málaga, 2018. Correspondrá a otro momento adentraremos en ellas.

1.- DOS RETOS ÉTICO-POLÍTICOS QUE NOS INCLINAN HACIA GAIA

1.1 EL DIAGNÓSTICO DE COLAPSO

“En primer lugar, existió el Caos. Después Gea [Gaia] la de amplio pecho, sede siempre segura de todos los Inmortales que habitan la nevada cumbre del Olimpo.”⁶ Con el permiso de Caos nos dirigiremos hacia Gea o Gaia, sede de Inmortales y también de nosotros/as los mortales, pero no sólo *homo sapiens*. Gaia es madre de animales, plantas, hongos, protistas y moneras o bacterias. En su “amplio pecho” todos los seres vivos somos hermanos y formamos parte integrada con sus suelos, aguas y aire. A sus ojos, no hay separación entre unos y otros, ni siquiera los elementos abióticos de los citados tres estratos están aislados de los seres vivos. ¿Podría, acaso, el platanero, haber cobijado a Sócrates y Fedro⁷ en su sombra sin los nutrientes que sus raíces toman de la tierra, el agua del río y la energía de la luz solar? Nos cuesta reconocer que estamos enredados con la naturaleza, que somos parte de la naturaleza viva; y, sin embargo, muchas prácticas cotidianas indican estas condiciones. En agricultura nos esforzamos en proveer a los suelos de nutrientes para que las plantas produzcan verduras y frutas. Añadimos ciemo —los desechos excretados de los animales como las ovejas o las gallinas— y labramos o, directamente, abonamos con nitrógeno, fósforo y potasio, minerales fundamentales para la producción. Invertimos en grandes infraestructuras de acumulación de agua como pantanos y canales, a pesar del impacto que puedan tener para los ecosistemas en los que se asientan; estudiamos los requerimientos hídricos de las plantaciones y diseñamos sistemas de irrigación; tratamos de evitar el granizo con cañones que, mediante explosiones de gas acetileno y aire, lanzan ondas a las nubes cada pocos segundos, lo que dificulta la formación de granizo. ¿Qué tienen en común estas actividades agrícolas? Son algunos de los procesos de explotación agrícola intensiva de comarcas como la del Bajo Aragón. Sus gentes lamentan cómo hace apenas cincuenta años las tierras de labranza eran muy ricas. Sus vecinos/as cultivaban frutales y huertos con los que se cubrían parte de las necesidades del año o se podía vivir sin demasiada extensión, eso sí, con mucha menor ayuda de la maquinaria agrícola y con mayor carga de trabajo. Hoy, la tendencia, es unificar lo que antes eran pequeñas tierras en extensiones hacia el mayor número posible de hectáreas para aumentar la eficiencia y poder

⁶ Hesíodo, “Teogonía”, *Obras y fragmentos*, Madrid, 1978, p. 76, Edición digital, en: <https://archive.org/details/hesiodo-obras-y-fragmentos/page/n3/mode/2up>, (visitado: 07/07/2024).

⁷ Árbol, junto al río Iliso, en el pasaje en que Fedro lee a Sócrates el discurso del sofista Lisias, cuestionando el amor apasionado. Platón, “Fedro”. *Fedón y Fedro*, 229a- 230c, Alianza, Madrid, 2009, pp., 181-184.

competir y extenderse en el mercado del capitalismo global.⁸ Las exigencias de la competitividad empujan a forzar todas las condiciones ecológicas que rodean a la producción, a las que se añade la contratación temporal y precaria de trabajadores/as.

No es nada nuevo subrayar las problemáticas de la explotación de los recursos y sus consecuencias para seres humanos, animales y ecosistemas en los que se implementan. Las actividades agrícolas que anotábamos antes buscan dominar y obligar a la naturaleza a seguir nuestros designios bajo una mirada que se ha ido imponiendo desde que Occidente entró en la Modernidad, apoyándose en el capitalismo, el patriarcado y la tecnociencia. Este modelo ha asumido la comprensión cartesiana de la naturaleza compartimentada en unidades aisladas, mecánicas e intercambiables, susceptibles de ser explotadas por el interés económico. En las técnicas de la agricultura se expresa el impulso por definir condiciones una a una, separar individualizar, contabilizar, competir y comerciar. Precisamente, se realizan así frente a un saber inadecuadamente elaborado y oscurecido: esa mezcla de agentes naturales que rodean al árbol quien, a su vez, afecta al medio con: la transformación del dióxido de carbono en oxígeno, con la extracción de nutrientes de la tierra y su retorno con la caída de las hojas; o, con la absorción de agua y su emisión a la atmósfera por la evapotranspiración. El paradigma moderno apunta a las interrelaciones y dependencias dinámicas de la naturaleza, pero cegado por intereses económico-políticos y la compartmentación de las disciplinas científicas, fuerza las condiciones ecológicas de la producción, y apenas roza la elaboración de un saber teórico interdisciplinario capaz de aproximarnos con toda la amplitud y profundidad que merece la naturaleza. En consecuencia, tiende a obviar o minimizar las implicaciones prácticas de nuestras formas de vida y valores extractivistas e individualistas con fuerte dosis de competitividad.

Sin embargo, en los años setenta del siglo XX encontramos dos acontecimientos que ponen en tela de juicio ambos elementos, tanto el dominio y la explotación de la naturaleza, como la parcelación de las disciplinas científicas. Hacia ellos nos han conducido nuestros trabajos y reflexiones, durante el máster.

Por un lado, la publicación de *Los límites del crecimiento. Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad*⁹ de 1972 —reactualizada en 1992 y 2004— supuso

⁸ El melocotón con Denominación de Origen de Calanda cultivado en las comarcas del Bajo Aragón, Bajo Aragón-Caspe y Bajo Martín se exporta a Suiza, Alemania, Portugal e Italia, y se han hecho pruebas de mercado para vender en China. Sariñena, P., “¿Dónde se vende el melocotón de Calanda? De comercios locales, a supermercados nacionales y países como Suiza”, *La Comarca*, 30/08/2023, en: <https://www.lacomarca.net/donde-se-vende-melocoton-calanda-comercios-locales-supermercados-nacionales-paises-suiza/> (visitado: 07/07/2024).

⁹ Crf. Meadows, D., et. al., [1972], *Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad*, Fondo de Cultura Económica, México, 1981.

un hito. Siguiendo a Jorge Riechmann, la investigación cuestiona las posibilidades de un crecimiento económico ilimitado en nuestro plantea limitado. La obra se sustenta sobre los resultados obtenidos a partir de modelos informáticos que anticipaban el comportamiento del sistema económico-ecológico mundial con diferentes hipótesis de partida. La conclusión general fue que la economía mundial tendería a detener su crecimiento y colapsar al combinar menor disponibilidad de recursos naturales, sobre población y contaminación.¹⁰ Así, la promesa del crecimiento económico expresado en términos de Producto Interior Bruto chocaría de brases en algún momento del siglo XXI con la carencia de recursos, los miles de millones de seres humanos que poblarían la Tierra y la contaminación extrema. Tres fuertes tendencias que derivarían hacia un colapso ecosocial. Los modelos mostraban posibles consecuencias de continuar las tendencias de las formas de vida de producción y consumo a escala global, no son predicciones exactas ni vaticinios, sino que los podemos considerar herramientas para la orientación ético-política de nuestras sociedades. Desde otros puntos, las investigaciones sobre el impacto humano en el planeta han continuado. Cabe destacar la *Advertencia de la Comunidad Científica Mundial a la Humanidad*¹¹ de 2017. Es un segundo aviso tras una primera publicación en 1992 —con más de 1500 expertos y la mayoría de los Premios Nobel del momento—. En la primera edición los científicos anuncian su preocupación por la rapidez en que la humanidad estaba acercándose a límites biofísicos desde los que sería muy difícil su reversibilidad. En 2017, a pesar de constatar una reducción del agujero de la capa de ozono, el texto urge a limitar el crecimiento de la población, a reevaluar la economía enraizada en el crecimiento permanente, a reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), a incentivar la energía renovable, a proteger los hábitats y los ecosistemas, a frenar la extinción de fauna y a modificar nuestros comportamientos.¹² El Centro de Resiliencia de Estocolmo, dependiente de dicha Universidad, ha realizado tres investigaciones sobre nueve límites

¹⁰ Riechmann, J., *Simbioética. Homo sapiens en el entramado de la vida. Elementos para una ética ecologista y animalista en el seno de una Nueva Cultura de la Tierra gaiana*, Plaza y Valdés, Madrid, 2022.

¹¹ Ripple, W., Wolf, Ch., Gaetti, M., et. al., (Trad. Emilio de las Heras), *Advertencia de la comunidad científica mundial a la humanidad*, 2017, en: <https://redbioetica.com.ar/%EF%BB%BFAdvertencia-de-la-comunidad-cientifica/>, (visitado: 07/07/2024). Carlos de Castro compara ambas advertencias en: Castro, C., “La ‘Advertencia a la humanidad’ de los científicos, 25 años después”, *15|15/15. Revista para una nueva civilización*, 1/05/2018, en: <https://www.15-15.org/webzine/2018/01/05/la-advertencia-a-la-humanidad-de-los-cientificos-25-anos-despues/>, (visitado: 07/07/2024).

¹² La ONU ha iniciado tímidos pasos frente al cambio climático como los Protocolos de Kioto o los más recientes Acuerdos de París con los que los países firmantes se comprometen a reducir las emisiones de GEI para limitar el aumento de temperatura global a 1, 5º C desde la época preindustrial, o, 2º C como límite máximo. Organización de Naciones Unidas, *Acuerdo de París*, 2015, en: https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf, (visitado: 07/07/2024). Desde otro frente, los movimientos sociales y el activismo, algunos grupos relevantes son la confederación de Ecologistas en Acción o la ONG internacional Greenpeace.

planetarios que, al ser traspasados ponen en serio riesgo la vida humana y de otras tantas especies en el planeta. Los límites estudiados son: el cambio climático, la integridad de la biosfera, los productos químicos artificiales en el entorno, la capa de ozono, los aerosoles atmosféricos, la acidificación de los océanos, los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y el fósforo y los cambios en el agua dulce. En 2023 se han extralimitado seis de ellos. En otros tres —el agujero de la capa de ozono, la carga de aerosoles en la atmósfera y la acidificación de los océanos— se cree que aún no se traspasan límites peligrosos para la sostenibilidad humana, en general. Si bien, cabe preguntarse, si tarde o temprano, con nuestras formas de vida, superaremos estos límites, y, si no fuese así ¿cómo seguirán los parámetros que aún se mantienen en ciertos niveles de estabilidad? No son límites aislados, sino globales y relacionados unos con otros.¹³ No parece muy halagüeño el futuro, por lo que ante lo dicho no nos queda otra que situarnos con la mirada realista y colapsista de Riechmann —y que compartirá De Castro—, nos encontramos en lo que denomina el Siglo de la Gran Prueba.

Por otro lado, y destacando para nuestro trabajo, en los mismos años setenta James Lovelock, médico y químico, recibió el encargo de la NASA de diseñar procedimientos capaces de comprobar la posibilidad de la existencia de vida en Marte para las misiones *Viking*. Junto con la filósofa Dian Hitchcock idearon que lo más sencillo sería el análisis de la atmósfera marciana bajo la presuposición de que, si hubiese vida en el planeta rojo, se debería utilizar la atmósfera para el transporte de materias y desechos de su metabolismo, afectando así a la composición química atmosférica. El análisis de la composición química desde la Tierra con telescopio de infrarrojos mostró que la atmósfera de Marte se componía mayormente de dióxido de carbono, muy cercano al equilibrio químico —sin movimiento y sin apenas intercambio energético, un planeta “muerto”—. Lo que confirmó la predicción de Lovelock, la ausencia de alteración química en la atmósfera implicaba que en Marte no había vida. Esta relación entre la composición química de la atmósfera afectada por la actividad de los seres vivos le sirvió de semilla para elaborar la hipótesis Gaia con la colaboración de la bióloga Lynn Margulis, incluyendo, así, su perspectiva simbiótica sobre la evolución de los seres vivos. Lovelock aúna diversas disciplinas en su hipótesis Gaia —aunque más tarde renunciará a ella— tales como la química, la física termodinámica, la geología, la fisiología, la biología, la teoría de sistemas dinámicos y abiertos, ecología, etc.

¹³ Samaniego, J., “En territorio desconocido: superados 6 de los 9 límites planetarios que permiten la vida en la Tierra”., *Climática*, en: <https://climatica.coop/limites-planetarios-cuantificados-los-9/>, (visitado: 0//08/2024). Accesible en inglés en: Rockström, J., et. Al., *Planetary boundaries*, Stockholm Resilience Centre. Stockholm University, en: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>, (visitado: 07/08/2024).

Podemos decir que, hasta aquí, hemos repasado el primer camino que nos ha llevado al interés por la teoría gaiana. Y es que en los años setenta *Los límites del crecimiento* y la hipótesis Gaia se dan la mano al mostrar la preocupación por el estado de salud del planeta, compartiendo en sus investigaciones una perspectiva amplia, sistemática, relacional e interdisciplinar. Así pues, y aunque nos encontramos envueltos en una cosmovisión de herencia moderna con un sistema productivo y unos valores que han provocado la crisis ecosocial, y el riesgo de colapso, bajo el nombre de la antigua diosa griega Gaia, confluyen múltiples ciencias operando un nuevo paradigma de comprensión relacional, dinámica y más respetuosa con de la vida y sus procesos.

1.2 DEBATE ENTRE ÉTICA ANIMAL Y ECOLÓGICA. ¿PERSPECTIVA GAIANA PARA SU SUPERACIÓN?

Planteemos, de nuevo, investigaciones científicas importantes, aunque esta vez, sobre la vida animal.

La Declaración de Cambridge sobre la conciencia de 2012 y su actualización en abril de 2023 establecen que la capacidad de sintiencia o ser consciente de gozar, sufrir y sentir dolor como ser individual rebasa al ser humano y se extiende a mamíferos, reptiles, aves, cefalópodos, incluyendo, después, a los artrópodos.¹⁴ Ambas declaraciones constituyen una nueva evidencia frente al antropocentrismo presente en nuestras formas de vida. Aceptando con J. Bentham que el criterio moral fundamental no es la razón, el uso de lenguaje simbólico u otras capacidades,¹⁵ sino el sufrimiento, las evidencias científicas “nos ponen los pelos de punta”, pues suponen un duro impacto a muchas de nuestras acciones cotidianas: la industria alimentaria, el vestido, el calzado, el uso de cosméticos, las actividades lúdicas con animales, la investigación y experimentación con animales, la caza, etc.

Las declaraciones sobre la sintiencia justifican una posición moral sensocéntrica que superan los problemas del biocentrismo. Este respetaría a cualquier forma de vida, incluyendo el mosquito que nos pica en la playa o las garapatas que atacan a nuestros perros. Sin embargo,

¹⁴ Philip, et. Al., *Declaración de Cambridge sobre la conciencia*, 07/07/2012, Universidad de Cambridge, accesible en castellano en: <https://www.animal-ethics.org/declaracion-conciencia-cambridge/>, (visitado: 07/08/2024). La *Declaración sobre la conciencia* publicada en el pasado mes de abril ratifica y amplía la anterior, incluyendo a los artrópodos. Kristin, An., et. Al. *The New York Declaration on Animal Consciousness*, en: <https://sites.google.com/nyu.edu/nydeclaration/declaration>, (visitado: 07/08/2024). Versión en castellano en: <https://www.animal-ethics.org/la-declaracion-de-nueva-york-sobre-la-consciencia-animal-pone-el-foco-en-las-implicaciones-eticas-de-la-consciencia-animal/> (visitado: 07/08/2024).

¹⁵ Que, por cierto, no tienen personas recién nacidas, con altas capacidades o enfermedades graves de Alzheimer, y a quienes no dudamos en proteger moralmente. Como tampoco dudamos en extender los cuidados médicos a personas inconscientes o en estado de coma.

el sensocentrismo no es ajeno a los problemas; por ejemplo, ¿cómo tratamos a especies “invasoras” como el siluro en el río Ebro o el cangrejo rojo americano? ¿los perseguimos y matamos, priorizando, así, el ecosistema, a pesar de que generemos dolor y sufrimiento? ¿y si reintegramos al lobo en sus ecosistemas, para conservar el equilibrio, pero este hace sufrir a sus presas? ¿cómo cuantificamos cuantificamos el dolor y el sufrimiento de las partes relacionadas? Pero, si se deteriora el ecosistema se genera también mucho dolor y sufrimiento ¿Por qué criterio moral nos inclinamos: el ecocéntrico o el sensocéntrico?

Este problema es abordado en el panorama español desde posiciones sensocéntricas por Óscar Horta, Catia Faria y Ezequiel Paéz. Por su parte, Jorge Riechmann, desde el ecologismo, entra en la discusión en *Simbioética*. El autor de Cercedilla comparte la crítica a la visión idílica de la naturaleza en la que los animales viven en paz y son felices. El sufrimiento y el dolor son, más bien, la tónica general en la naturaleza, por la alta tasa de natalidad de muchas especies, los agentes climatológicos perjudiciales para sus vidas, la enfermedad, la búsqueda de recursos, la predación, etc., pero lamenta que los primeros autores pongan el foco en la dificultad de reconciliar en la práctica ambas éticas.¹⁶ En sendas posiciones encontramos la oposición al antropocentrismo moral y sensibilidad antiespecista, en ambas posturas late, en su fondo, la preocupación por la vida. Riechmann mantiene la posibilidad de tener una visión holista y de conjunto de las situaciones que requieren intervención, sin dejar de lado el criterio individual sensocéntrico propuesto por los compañeros. En esta línea, defiende la necesidad de tener esa perspectiva global gaiana para comprender con profundidad el funcionamiento dinámico e interdependiente de los ecosistemas.¹⁷ Riechmann nos abrió la puerta a la teoría Gaia de De Castro —cuyos pensamientos se sitúan en líneas de diagnóstico y preocupaciones similares, comparten, lo que podríamos decir con L. Wittgenstein “aire de familia”—.

¿Qué nos aportaría, entonces *a priori*, la Teoría Gaia Orgánica? Consideramos a modo de hipótesis que proporciona argumentos para atravesar el debate. Siendo conscientes de que no nos hemos adentrado aún en su desarrollo, creemos que son suficientes los breves rasgos indicados más arriba para lanzar una idea a modo de tanteo. Entendemos que la dimensión entrópica —no confundir con antrópica— explica que se facilite la creación de sistemas

¹⁶ El debate es amplio y está abierto, nuestro objeto no es más que señalar el debate para valorar, posteriormente, las posibilidades de reconciliación que abriría la teoría Gaia. Para una aproximación a la posición sensocéntrica se puede consultar a Faria, quien mantiene la incompatibilidad práctica de la ética animal con la ecológica en: Faria, C., “Réquiem por un mito. Desmontando la compatibilidad entre la ética animal y la ética ambiental”, *Analéctica*, Vol. 8. Núm. 50, 2022, en: <http://portal.amelica.org/amelia/journal/251/2512852005/>, (visitado: 08/08/2024).

¹⁷ Riechmann. J., *Op. cit.*, “Una utopía ética desmadrada: la intervención animalista positiva en la naturaleza”, 2022.

complejos de energía y materia entrelazados, a saber: los organismos y sus ecosistemas, de manera que se desdibuja la oposición entre el sensocentrismo y el ecologismo. Esto es, lo que para nuestra mirada cotidiana aparecen como animales y ecosistemas separados, desde el punto de vista termodinámico se muestran como “concentraciones” procesuales de difusión energía y materia. La perspectiva holista de la TGO propone un sistema abierto, complejo y en evolución en el que todas las partes se nutren mutuamente hacia el equilibrio del gran organismo que es Gaia. La consideración de Gaia como organismo vivo supondría un acercamiento a una posición biocéntrica procesual que imbricaría ambas éticas en una. Ahora bien, en los contextos concretos de deliberación y toma de decisión, como en el caso del siluro —ser vivo sintiente y especie invasora— nos dirá que, como célula o parte de Gaia posee valor moral, también por su capacidad como sintiente; no obstante, al situar al siluro fueraen un ecosistema diferente distorsiona las vidas y el funcionamiento de otras células y/o ecosistema, propiciando sufrimiento a otros, en último término, a Gaia.

2. LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA DE LA TEORÍA GAIA ORGÁNICA

El recorrido de los dos retos ético-políticos nos ha llevado hacia la exploración de Gaia. Pero antes, expondremos con De Castro los presupuestos filosóficos y científicos de la TGO que lanza al debate sobre las teorías evolutivas. El marco filosófico-científico se esboza en *El origen de Gaia* —de 2008—, aunque se encuentra presente en *Reencontrando a Gaia* —2019— y en los anexos que acompañan ambas obras. Esta última mantiene las líneas generales de la primera, sintetiza algunas de sus partes y ofrece actualizaciones.

2.1 PERSPECTIVA HOLISTA Y CONCEPCIÓN DE LA CIENCIA

El holismo sigue manteniendo que existen propiedades de los sistemas complejos (llamadas emergentes) que son globales y que no se pueden predecir como la suma de interacciones entre partes simples. En la visión holista, es el todo el que determina algunas de las propiedades de las partes, de ahí que no se pueda reducir a ellas.¹⁸

¹⁸ De Castro, *Op. cit.*, 2008, p. 25.

A modo de preámbulo, hay que entender que la Gaia Orgánica —a diferencia de otras teorías Gaia— adopta una perspectiva holista fuerte en la que el todo, en este caso, el organismo Gaia es el que dirige y condiciona la evolución de los seres vivos y sus propias condiciones de vida en la Tierra. Cada ser vivo forma parte de ese todo mayor que surge de manera imprevisible de su comunidad interrelacionada como sistema abierto y evolutivo. Gaia resulta un macrosistema compuesto de sistemas vivos diferenciados y relacionados —seres vivos— a diferentes escalas como una caja de muñecas rusas —apunta De Castro—. El holismo de la TGO rompe con el reduccionismo mecanicista moderno ejemplificado en las reglas del método cartesiano —evidencia, análisis, síntesis y revisión o enumeración—, tampoco acepta la postura compositionista que enuncia que las partes y su interacción son el todo. El holismo mantiene que surgen propiedades indeterminadas en la estructura que es el todo, más allá de la suma de las partes. Su rechazo al mecanicismo no supone la aceptación del vitalismo de corte bergsoniano u otros antiguos hilozoísmos griegos, no hay en Gaia un elemento sutil o etéreo que anime a la biosfera o a la Tierra, Gaia es superorganismo emergente de los subsistemas vivos en interacción con los hábitats.

El teorema de K. Gödel que defiende la imposibilidad de alcanzar un sistema matemático completo —universal— y consistente —sin contradicciones—, refuerza las nociones de emergencia, holismo y autorreferencia que articulan la TGO. Y es que el traslado de las ideas de Gödel a la física que sostiene De Castro implica que no se podría elaborar una física del universo completa, aunque este fuera finito, porque el modelador —el físico que construye la teoría general— debería también aparecer en la teoría o modelo, modelizándose a sí mismo. Sucede pues que hay una paradoja que no se puede salvar al llegar a la autorreferencialidad. De acuerdo con De Castro, la perspectiva holista asume que las propiedades emergentes en el sistema son nuevas e impredecibles, mientras que desde el paradigma mecanicista y compositionista suponen un problema, puesto que no se pueden demostrar o derivar mediante leyes o reglas. El autor propone a modo de especulación que, en los sistemas, al evolucionar y hacerse complejos, aumenta también sus posibilidades de contradicción e inestabilidad, para salvar este problema, incrementan su complejidad integrando lo que serían las contradicciones. Este salto hacia lo complejo es la emergencia de nuevas propiedades que garantizarían la estabilidad.¹⁹ El universo quedará siempre abierto y ni la ciencia ni la filosofía podrán abarcarlo, he aquí que la ciencia debe ser abierta, falsable y pragmática.

¹⁹ *Ibid.*, pp.31-34.

De Castro, apoyándose en otros avances de la ciencia del siglo XX, ahora desde la física, mantiene una concepción de la ciencia abierta y adaptativa con carácter pragmático, consciente de que nunca alcanzará la verdad absoluta y que rompe con la causalidad necesaria.²⁰ Así resultan claves para las bases de la TGO: el principio de incertidumbre de W. Heisenberg que postula la imposibilidad de determinar al mismo tiempo la posición y la velocidad de un electrón; y, la dinámica de sistemas complejos y abiertos en los que se abordan los problemas científicos desde la interrelación de las partes con retroalimentaciones —con capacidad de autoafectarse— y no desde una linealidad lógica causa-consecuencia. Desde los dos ámbitos, micro y macro de las ciencias se llega a un indeterminismo,²¹ desde el que más adelante se propondrá como especulación lejana la posibilidad de que Gaia se extienda a otros planetas.

Si nos preguntamos por el método científico con que el De Castro plantea su teoría; primero, reconoce que en su formación y quehacer como físico y biólogo no se ha encontrado con las fases que, típicamente, describen el método hipotético-deductivo: observación, elaboración de hipótesis, deducción de consecuencias y contrastación. Pero sí, se ha visto inserto en el paradigma que ha marcado su formación. En la TGO, por tanto, han intervenido los conocimientos científicos disponibles, las anomalías, la formación mediante los libros de texto, y otros factores sociales y azarosos —punto con el que se vincula a P. Feyerabend y su *Tratado contra el método*—. No obstante, es más interesante su reflexión en torno al concepto de “paradigma” de S. Th. Kuhn al apostar con rotundidad un cambio de paradigma desde la TGO hacia otras esferas de la cultura.

En la sucesión de las fases del método hipotético-deductivo incluye las retroalimentaciones procedentes de la teoría de sistemas complejos disipativos del nobel Ilya Prigogine y con ello, la autoconciencia del quehacer científico en el desarrollo del paradigma en que se está inmerso, manteniendo la perspectiva holista, compleja y relacional, lejos de la causalidad determinante mecanicista.

²⁰ Aunque desde la filosofía ya D. Hume en el siglo XVIII, avanzase críticas a la causalidad necesaria, proponiendo que tal idea no procede de una impresión sensible, sino que es generada por la facultad de la imaginación a partir de la costumbre.

²¹ De Castro, C., *Op. cit.* 2020, p., 19.

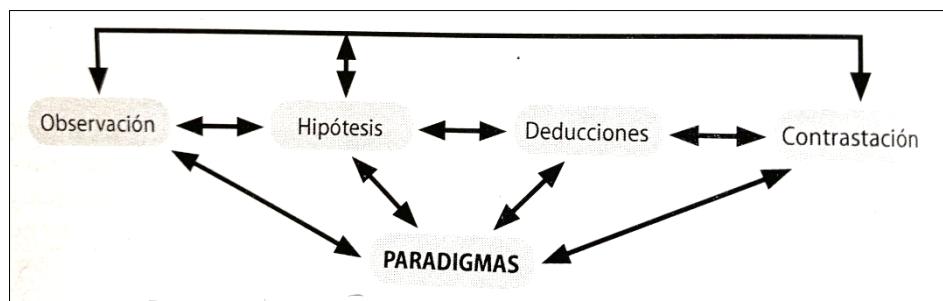


Figura 1: Método científico enriquecido con retroalimentaciones. **Fuente:** El origen de Gaia, p. 28

Las ciencias basadas en la causalidad suponen una reversibilidad en el tiempo, pero —desde la influencia de Prigogine— De Castro sostiene que la realidad es irreversible, sus fenómenos históricos no se pueden retrotraer al pasado ni postular su estado futuro —como deseara P. S. Laplace—. El emergentismo presente en la TGO mantiene que la complejidad de los sistemas orgánicos hasta ciertos límites, desde los que se realiza un salto cualitativo con nuevas propiedades imprevisibles. Aquí enlaza la endosimbiosis de Lynn Margulis que postula como origen de la célula eucariota la simbiogénesis entre bacterias unicelulares. La célula eucariota sería un salto en complejidad irreversible y no reductible a sus partes —antes bacterias libres con sus propósitos y ahora subsumidas a la actividad de la eucariota—.

El holismo, la indeterminación, la incertidumbre, la teoría de sistemas disipativos, la entropía —de la que hablaremos después— y el emergentismo se imbrican en un nuevo paradigma organicista que De Castro mantiene para las ciencias de la vida y sus teorías frente al darwinismo y el neodarwinismo nacidos bajo el marco del reduccionista, la simplificación y la causalidad mecanicista. Reconoce el valor de sus aportaciones del paradigma, pero considera más explicativo y predictivo el organicismo gaiano.

El autor inserta la TGO en el paradigma organicista —como avanzábamos— y apunta referentes históricos para mostrar la larga trayectoria del paradigma en el pensamiento. Se remonta brevemente a las ideas animistas compartidas en el mundo antiguo de los presocráticos, Platón y Aristóteles, el hinduismo o Egipto. Observa, De Castro, también, continuidad organicista en los inicios del mecanicismo moderno. Remite a Leonardo da Vinci, J. Kepler —en cuyos escritos trata a la Tierra como si estuviese viva— e I. Newton —que visualiza el planeta como un gran animal que respira éter para su renovación vital— quienes colaboraron en la estructuración del paradigma mecanicista. Por otro lado, habiéndose asentado el mecanicismo moderno, conviven ideas de corte organicista en diversos autores. En J.

Hutton²² en el siglo XVIII observa una postura ambivalente en su lenguaje sobre los seres vivos. Trata a la Tierra como un mecanismo complejo con el propósito de ser habitable para los seres vivos y en especial para el ser humano —sin especificar si es fruto de la naturaleza o la divinidad, siendo el autor agnóstico—. E. Suess²³ acuñó el término de “biosfera” y V. Vernadsky²⁴ —en el siglo XIX y XX respectivamente—, elabora el término y mantiene, también, ideas sobre la Tierra viva, aunque sin romper con el mecanicismo. Para nuestro autor, el darwinismo y neodarwinismo actuales siguen en el marco reduccionista moderno, escaparía a él la primera obra de J. Lovelock, *Gaia. Una nueva visión de la vida sobre la Tierra* con una concepción orgánica —que, como veremos, abandonará más tarde— que De Castro desarrolla con la TGO.²⁵ En cualquier caso, nuestro autor advierte que ambos paradigmas son metáforas para comprender la naturaleza desde un marco hipotético introducido por la expresión *como si fuese...* En el mecanicismo se comprende la naturaleza y los seres vivos “como si fuesen” una máquina gigante reducible a sus partes más pequeñas; mientras que el organicismo propone una descripción de la naturaleza con sus partes interrelacionadas, coordinadas e interdependientes que, en último, término actúan “como si su totalidad fuese un organismo vivo”.

Pero, ¿podemos considerar que hay continuidad entre el organicismo antiguo, los retazos modernos y el presente en la TGO? De Castro subraya la solidez de las ciencias físicas y biológicas que sustentan la TGO y defiende la necesidad de realizar una revolución copernicana en las ciencias biológicas. Precisamente, el organicismo gaiano holista, abierto, indeterminado, evolutivo y emergentista nos inclina a pensar, como posible objeto de estudio —para otro momento— el contraste entre las semejanzas y/o rupturas entre el modelo organicista antiguo y el gaiano asentado en los avances científicos del siglo XX y XXI.

2.2 ANTROPOCENTRISMO, TECNOLOGÍA Y TELEOLOGÍA

La TGO está en las antípodas del antropocentrismo. De Castro va ofreciendo diversos argumentos frente a la idea ampliamente extendida en nuestra cultura de que somos el centro del Universo o la especie elegida. De hecho, la perspectiva holista ya pone el foco en la

²² Considerado fundador de la geología moderna.

²³ Geólogo austriaco.

²⁴ Científico de origen ucraniano que contribuyó al desarrollo del concepto de “biosfera” en las ciencias y en la idea de su modificación por parte de los seres vivos para su habitabilidad. J. Lovelock desconocía sus trabajos, y, posteriormente, observará similitudes con su hipótesis Gaia. Lovelock, J., *Op. cit.*, 2020.

²⁵ De Castro, C., “Organicismo gaiano versus mecanicismo neodarwinista”, *Op. cit.*, 2019.

totalidad de la vida en la Tierra, en la que *homo sapiens* ocupa un lugar complejo —más adelante lo veremos—. Contra el antropocentrismo se hace eco de las consecuencias del heliocentrismo copernicano —frente al geocentrismo antiguo y medieval— y de la teoría de la selección natural darwiniana al entroncar a los seres vivos en un origen común —aunque más tarde veremos sus argumentos gaianos contra el darwinismo y el neodarwinismo—. El copernicanismo y el darwinismo son dos de las “tres heridas” frente al narcisismo del hombre, como las llamó S. Freud —a las que añade la dimensión inconsciente—. Las declaraciones sobre la conciencia podemos sumarlas aquí como nuevos argumentos contra el antropocentrismo.

En la medida en que la TGO se entronca con la evolución del Universo adopta el Big-Bang como su inicio —hace unos 13.800 millones de años—; los procesos astronómicos de generación de estrellas a partir gigantescas nubes de hidrógeno y helio; así como la formación de los elementos químicos en sus núcleos, y de aquellos elementos más pesados en la explosión de las supernovas primigenias. Ahora bien, De Castro es consciente de que el surgimiento de la vida parece, a primera vista, algo excepcional, por lo que muchas posturas, aunque abandonen el creacionismo y/o el diseño inteligente —de orígenes religiosos—, adoptan el llamado principio antrópico. Esto es, evaluar desde nuestra posición humana, que todas las leyes físicas —incluidas sus constantes; como, por ejemplo, la velocidad de la luz— y biológicas han derivado en último término para el surgimiento de la especie humana. Para nuestro autor, esta idea no escapa del antropocentrismo y es fácil caer en él cuando nos aproximamos a los límites de la ciencia. De Castro, teniendo en cuenta los tiempos de evolución del Universo y los tiempos aproximados de la evolución de los seres vivos —apoyándose en la entropía, la evolución por simbiogénesis y frente a los amplios tiempos que se requieren en la evolución gradual por azar desde el darwinismo— se mostrará abierto a la hipótesis de la panspermia,²⁶ es decir, que la vida llegase del espacio exterior.

La tecnología como capacidad de transformación o adaptación del medio a las necesidades de los seres vivos no es exclusivamente humana. De Castro en discusión con Ortega y Gasset, no acepta que la técnica o la tecnología es lo contrario a lo que hacen los animales, la adaptación del medio a nuestras necesidades, dando lugar, al mismo tiempo, a nuevas necesidades artificiales. Los seres vivos no son pasivos respecto a la naturaleza. El autor nos advierte que la agricultura, mismamente, es realizada por las termitas y hormigas desde hace millones de años. Cultivan y cuidan de sus alimentos en termiteros y hormigueros, y se

²⁶ De Castro, C., *Op. cit.*, 2020, p., 66.

especializan en actividades diferentes del proceso productivo: labranza y preparación del suelo, fertilización, limpieza de brotes y cultivo de hongos, cosecha.²⁷ Los termiteros controlan la temperatura, la humedad y la oxigenación para sí mismos y la colonia. Algunas plantas como los eucaliptos producen aceites que, si se queman, aceleran la combustión con lo que el bosque se renueva más rápidamente. A nivel gaiano, es decir, desde la perspectiva del superorganismo del que los demás seres vivos formamos parte e interrelación, los árboles y bacterias remueven el dióxido de carbono y funcionan también como sumideros del mismo. La capa de ozono supondría también, una tecnología gaiana que evita la influencia de los rayos ultravioletas negativos para la vida. Cuando la naturaleza comenzó a verter oxígeno resultó un periodo crítico para la vida, pero propició la aparición de seres vivos aeróbicos, capaces de reequilibrar el oxígeno. La tecnología humana, por su parte, “parasita” a Gaia, y tiende a disminuir y simplificar sus ecosistemas. No persigue una finalidad adaptativa o protectora de la vida.²⁸

2.2.1 En torno a la teleología

Recordemos que las raíces etimológicas de “teleología” vienen a significar el estudio o la ciencia de los fines —*télos*— o propósitos. La teleología responde a un “para qué”. La TGO explica que todo organismo, ya sea unicelular, pluricelular, ecosistema o la propia Gaia responde a fines; tiene sus objetivos y metas. Frente a las explicaciones causales del paradigma moderno cuyos enunciados científicos se fundan en responder al “cómo” o al “porqué” de los fenómenos naturales; en la TGO la respuesta al “para qué”, es decir, la búsqueda de los fines de los fenómenos biológicos, resulta clave. De Castro, nos advierte que entre sus argumentos aparecerán herramientas como “la intuición, el sentido común, la analogía, el sentido estético, sabiendo que no encontraré la Verdad,”²⁹ lo que da cabida a la teleología y como veremos, resulta central en la formación de los organismos cada vez más complejos.

Estas nociones vienen a redondear el respaldo de la TGO con una filosofía de la ciencia carente de pretensiones universalistas dogmáticas, sino más bien flexible, y audaz en hipótesis, dispuestas a ser falsables —en sentido popperiano—.³⁰ De esta manera, las hipótesis serán verosímiles, y, por tanto, científicas cuando superen las pruebas que la traten de refutar.

²⁷ *Ibid.*, p. 71.

²⁸ *Ibid.*, pp., 89-100.

²⁹ *Ibid.* p., 15.

³⁰ La falsabilidad de las hipótesis es subrayada por De Castro a lo largo de sus textos en diversas ocasiones.

En el debate sobre la pertinencia de las explicaciones teleológicas en biología,³¹ nuestro autor las reivindica, e incluso para la misma ciencia como acicate para el fomento de la investigación, a pesar de que a través de la Modernidad no haya pasado por sus mejores momentos.

I. Kant le sirve como referencia para reforzar el papel de los fines en Gaia y los organismos vivos, aunque quizá fuese interesante elaborar una argumentación desde Aristóteles en tanto que su perspectiva es más cercana al organicismo que la kantiana que; por un lado, justifica las leyes causales y mecánicas de la naturaleza, a través de su imposición *a priori* por el sujeto trascendental, y, a la vez, especula sobre la finalidad de la naturaleza, pero no ya como conocimiento científico, sino como pensamiento que permite reflexionar. Se nos abriría, así, para la filosofía una posible investigación que consistiría en una evaluación del finalismo aristotélico y del kantiano como argumento filosóficos que reforzasen la pertinencia de las explicaciones teleológicas en la TGO.³²

Retomando la concepción de la teleología en la TGO, cabe decir que De Castro insiste en que dejar claro que no es lo mismo tener propósitos y ser consciente de los propósitos. Sus ejemplos serán ilustrativos: podemos saber “cómo” una cigüeña construye su nido, pero se comprenderá mejor si respondemos “para” cuidar de sus polluelos. Un termostato, en este caso, máquina artificial, se activa o desactiva “para” mantener una temperatura adecuada. Podemos encontrar propósitos en ambos entes, pero no necesariamente el agente es consciente de ellos; es más, en el segundo caso, es el instalador quien programa el propósito del termostato.

Aquí reside la problemática que rodea al concepto de “teleología” en la biología. El darwinismo tuvo un correoso enfrentamiento con el creacionismo cristiano en dos ámbitos: frente a la concepción fijista —que defendía que los seres vivos habían sido creados por Dios tal y como eran, y de una vez y para siempre— de las especies, y frente a la idea antropocéntrica que eleva al hombre —varón— como señor de las demás especies. W. Paley, aunque escribió unas décadas antes que Ch. Darwin, se sirvió del llamado diseño inteligente —postura creacionista—, mediante la analogía del reloj para justificar que las especies habían sido diseñadas por una inteligencia superior. Sugería que, al igual que los complejos y precisos mecanismos de un reloj han sido diseñados y construidos por una inteligencia humana, la naturaleza y sus organismos —muy superiores en complejidad y orden al reloj— habrían sido

³¹ Cfr. Algunas posiciones de autores como Ernst Mayr y F. J. Ayala son recogidas y comparadas en: Barahona, A., y Martínez, S., (Comps.), Barahona, A., y Martínez, S., “XXI. Teleología y biología”, *Historia y explicación en la biología*, Fondo de Cultura Económico, México, 1998, pp., 419-430.

³² Reto de investigación que aquí resulta inabordable.

diseñados por una inteligencia mayor. Este ser, por tanto, habría impuesto la finalidad o *télos* en cada uno de los seres vivos y en su conjunto.

La reivindicación de la teleología en la TGO rechaza por completo el creacionismo y el diseño inteligente. Se basa en la observación de que cada organismo, independientemente de su complejidad y escala; una célula, una hormiga, un elefante o Gaia tiene su *télos* o propósito. A través de la termodinámica de sistemas disipativos y la simbiosis de Margulis, la TGO mantiene que; por ejemplo, la bacteria u organismo procariota realiza sus actividades metabólicas y fines por y para sí misma. Sin embargo, al surgir la célula eucariota con el proceso de la endosimbiosis —la subsunción de determinadas procariotas a partes y funciones de la eucariota mayor—, sucede que parte del *télos* o propósitos de las procariotas iniciales han desaparecido y es ahora, el organismo mayor, la eucariota, la que posee nuevos fines para los que las procariotas trabajarían. Este procedimiento de asimilación de funciones y finalidades por parte del organismo o sistema vivo más complejo estaría presente, luego, en la aparición de los seres pluricelulares, los insectos eusociales —como termitas, hormigas o abejas— y en Gaia como superorganismo que implementará los fines últimos a las partes vivas que la constituyen —organismos y ecosistemas—.

3. TEORÍAS DE LA EVOLUCIÓN EN EL MARCO MECANICISTA

Dejando de lado las teorías fijistas como la de Aristóteles —en la que el *eidos* o esencia formal define el género y especie de la sustancia concreta o ser vivo— o el creacionismo, y sin detenernos en otras teorías evolucionistas como la de Anaximandro en la antigüedad —quien consideraba que las especies terrestres pudieron evolucionar a partir de las marinas—, nos aproximaremos a las teorías de la evolución del siglo XIX y XX inscritas en el marco mecanicista que han tenido, hasta ahora, mayor éxito y aceptación, no sin dejar abiertos problemas y discusiones.

Además, la ciencia no es ajena al ambiente económico, social, político y cultural que la rodea, por lo que De Castro apunta la realimentación e influencia entre el capitalismo y el ambiente cultural colonialista blanco del siglo XIX y las teorías biológicas de la evolución. Expondremos las principales hipótesis y dificultades del lamarckismo, el darwinismo y el neodarwinismo o teoría sintética de la evolución, para después, terminar con la endosimbiosis de Margulis.

3.1 J. B. LAMARCK

El biólogo francés, J. B. Lamarck, es conocido por su teoría de la evolución a través de la heredabilidad de los caracteres adquiridos. Lamarck plantea que el uso y desuso de los órganos que favorecen la adaptación y supervivencia del animal se irán transmitiendo de manera gradual hacia las nuevas generaciones, dando lugar a diversas especies, con tendencia innata hacia la perfección. Por otro lado, si un órgano no se utiliza tenderá a su desaparición.

Lamarck tiene como méritos introducir la idea de la evolución gradual y proponer la tendencia natural de los seres vivos hacia la complejidad. Ambas cuestiones, como veremos, resultarán problemáticas para las teorías darwinista y neodarwinista, y tratarán de ser resueltas con mayor éxito desde el holismo gaiano.

3.2 CH. DARWIN

Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural, o la preservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida es el título completo de la revolucionaria obra de Darwin, publicada en 1859. De Castro subraya el aire ideológico que rodea el título de la obra en torno a los conceptos de “raza” y “lucha por la vida” en el capitalismo feroz y expansivo del hombre blanco occidental por el planeta. A. R. Wallace y Darwin desarrollaron de manera independiente la idea de la evolución por selección natural, incluso publicaron en 1858 en una revista sus ideas de manera conjunta, sin embargo, Wallace reconoce los méritos de Darwin y se aleja de la competitividad científica. Dos de las influencias más notables en Darwin son su abuelo Erasmus que le precede en la idea de un tronco común en la evolución de los seres vivos, y el economista Th. R. Malthus al sostener que las poblaciones crecen de manera geométrica, mientras que los recursos lo hacen más lentamente, de manera aritmética. Es importante señalar con De Castro frente a la creencia común que opone Lamarck y Darwin que, en la evolución del pensamiento del inglés, en la sexta y última edición de *El origen de las especies* introduce un mecanismo lamarckista, según el cual el cuerpo avisaría a las células germinales —óvulos y espermatozoides— de que habría que generar un órgano.

La teoría de la evolución por selección natural postula que todos los seres vivos proceden de un ancestro común y han evolucionado de manera gradual hacia las distintas especies, mediante variaciones heredables. Los organismos se reproducen exponencialmente y son sometidos a la presión del ambiente, aquellos más adaptados y con mayor éxito reproductivo dejarán descendencia, generando variedades y especies cada vez más separadas.

La selección artificial hecha por el ser humano en la agricultura y la ganadería es análoga a la selección natural. Si bien, De Castro anota que una teoría de la evolución debería explicar también: el crecimiento exponencial de la diversidad en complejidad, la tecnología como capacidad de los seres vivos para adaptar el entorno a sus necesidades y la emergencia de Gaia. Los problemas más relevantes de los que adolece el darwinismo o la evolución por selección natural —aunque Darwin trató de refutar algunos— son: 1) el gradualismo: es excesivamente lento para explicar toda la diversidad y complejidad de las formas de vida en la Tierra —a pesar de que Darwin estimaba unos millones de años, superando los seis mil años de edad de la Tierra que defendía el creacionismo—; 2) no hay suficiente registro fósil para apoyar el gradualismo. Posteriormente, para solventar el problema S. J. Gould y N. Eldredge propondrán en el siglo XX la teoría del equilibrio puntuado que sostiene la existencia de largos períodos de tiempo de invariabilidad en las especies que se rompen en momentos de evolución acelerada; 3) circularidad en la selección natural: sobreviven los más aptos, pero sólo se conocen a los que sobreviven, ¿son ellos, pues, los más aptos? Darwin reconoce este problema y recurre al desconocimiento de todas las relaciones mutuas de los seres orgánicos; 4) se desconoce el mecanismo de variación —resuelto por el neodarwinismo con la mutación genética— 5) resulta muy difícil explicar la complejidad a partir de cambios muy pequeños y graduales. Ej. el desarrollo del ala para volar requiere de cambios multifuncionales a la vez en el organismo.

El 1) gradualismo y 5) la complejidad son serias dificultades que aborda TGO. De Castro escribe de manera significativa: “Precisamente, casi todo lo que inspira este libro, es fruto de la intuición de que 4000 millones [estimación de los inicios de la vida] de años de evolución a través de la selección natural, son insuficientes para dar lugar desde la primera célula hasta una orquídea de un bosque tropical.”³³ Ambas se pretenden superar con la tendencia a la complejidad que implica la diversificación de vías para la dispersión de la entropía, y la simbiogénesis como salto evolutivo que permite la avanzar grandes pasos en la evolución de los organismos.

3.3 NEODARWINISMO

En el siglo XX, surge el neodarwinismo o teoría sintética de la evolución con el estudio de la genética que iniciase J. G. Mendel —un siglo antes— y la genética de poblaciones. Tiene la ventaja de salvar el problema 4) del darwinismo: introduce la mutación genética como

³³ De Castro, C., *Op. cit.*, 2020, p. 120.

mecanismo de variación aleatoria para originar la especiación. Mantiene que en los organismos se dan mutaciones aleatorias en su genotipo —adaptativas, neutras o perjudiciales—. A continuación, la presión del entorno hará actuar a la selección natural sobre los seres vivos, favoreciendo a aquellos cuyas mutaciones —como genotipo constituyente— han sido beneficiosas en su adaptación al medio y que, además, hayan podido reproducirse. Con la selección continuada del organismo poseedor de la mutación beneficiosa, se irá desarrollando la línea genética hacia la nueva especie. Describe, también, la recombinación genética en la reproducción sexual por la que se mezcla el genotipo de las células reproductoras —gametos— de los progenitores, incrementará la variabilidad.³⁴ El neodarwinismo interpreta los descubrimientos y mejoras del registro fósil como paso para solventar, en cierta medida, el problema 2) del gradualismo evolutivo. Explica con éxito la especiación por aislamiento geográfico en el que una variedad se va adaptando en aislamiento a sus condicionantes ambientales hasta dar lugar a una especie distinta.

No obstante, sus avances, De Castro señala que buena parte de las críticas al darwinismo son extrapolables al neodarwinismo. Apenas presta atención a la complejidad ni a la velocidad acelerada de la evolución, desde la teoría sintética se sigue necesitando millones de años para el gradualismo. En la actualidad se estudia la complejidad a través del aumento de información en el número de genes o ADN relacionados con fenómenos de duplicación y de cantidad de espacio disponible.³⁵

Como apuntaba antes el profesor de Valladolid, la teoría sintética apenas tiene en cuenta a la tecnología de la biosfera y de los organismos, esto es, los procesos por los que los organismos adaptan el medio a sus necesidades. Pero aquí realiza una objeción, frente a la “sacrosanta” competitividad, tanto el darwinismo como su desarrollo posterior requieren que en los comienzos de una especie no haya competitividad, pues, si no, implicaría la lucha por los mismos recursos con la línea ascendente. Este conflicto sería salvable si la especie naciente se desplaza de nicho ecológico. Por otro lado, TGO ofrecerá otro argumento para explicar este fenómeno al introducir la explicación evolutiva en la historia del universo y apoyarse en las leyes de la termodinámica.³⁶

³⁴ Los organismos con reproducción sexual poseen en sus células reproductoras la mitad del número de cromosomas que en las somáticas. La mezcla dará lugar a la posibilidad de que se exprese alelos distintos —formas de expresión de un mismo gen en el cromosoma—.

³⁵ De Castro, C., *Op. cit.*, 2020, p. 149.

³⁶ Serán la segunda y la cuarta ley de la termodinámica. La tendencia a la distribución de la energía del universo y a tomar los caminos más eficientes. Más tarde se abundará en ellas.

3.4 DE LA COMPETENCIA A LA COOPERACIÓN

El paradigma que alimentó y realimentó el darwinismo y el neodarwinismo está articulado sobre conceptos como los de competencia, lucha del más fuerte, supervivencia, enfrentamiento, escasez de recursos, etc. Sus observaciones se centran en el reino de los animales y/o de tamaños medios —cercaos a los seres humanos— en los que son fácilmente y llamativas las conductas de depredación y agresividad. Sin embargo, en el evolucionismo ruso de primeros del XX aparece una interpretación de la evolución enfocada sobre unos conceptos muy distintos vertebrados alrededor de los de “cooperación” y “ayuda mutua” entre seres vivos. Aquí, la especiación y la diversidad es explicada desde la perspectiva de P. Kropotkin. El naturalista y anarquista ruso —razones ideológicas por las que, seguramente, no ha tenido éxito en el Occidente capitalista— propone en *El apoyo mutuo*³⁷ que la cooperación es más exitosa en la supervivencia que la competencia, además, facilitaría la reproducción. La sociabilidad proporciona aptitud y adaptabilidad y asegura el bienestar de la especie y la inteligencia como adaptación. Algunos ejemplos concretos quedarían fácilmente explicados desde su enfoque cooperativo. De Castro trae como ejemplo del mismo Darwin el caso de un pelícano ciego que era alimentado por otros de sus congéneres, recorriendo hasta cincuenta kilómetros para ello.

La competitividad, de acuerdo con De Castro, tendrá su lugar en los estados iniciales del desarrollo de los ecosistemas, sin embargo, luego tiende hacia la complejidad y aquí tiene cabida la consideración de Kropotkin de la cooperación entre los organismos para facilitar la supervivencia. Si bien, nos señala una paradoja que nos advierte sobre nuestra responsabilidad en la sexta extinción de especies: la actividad humana que reduce la complejidad de los ecosistemas, propicia, pues, las condiciones simplistas en las sucede la competitividad. Por lo que lanza la predicción de que, de ser así, las investigaciones en determinados ecosistemas fuertemente alterados por la actividad humana observarán con facilidad conductas competitivas, realimentando la perspectiva darwinista-competitiva de la naturaleza. Otro ejemplo importante que reaparece en *Reencontrando a Gaia* es del bosque de Pando en Estados Unidos. Es un bosque de álamos con unos cuarenta y siete mil troncos, y con una vida estimada de diez mil años. Resulta que todo el bosque comparte el mismo ADN, es decir, es un único organismo del que han brotado los troncos que, con frecuencia, comparten las mismas raíces. En este bosque la caída de un árbol derriba por un rayo y las plántulas nacientes no pueden

³⁷ Cfr. Kropotkin, P. [1902], *El apoyo mutuo. Un factor de evolución*, Pepitas de calabaza, Logroño, 2016.

explicarse en terminología competitiva, sino más bien, como la restauración del organismo y cooperación de sus partes.

La asimilación de la terminología cooperativa, así como la teoría de la simbiogénesis basada en la interdependencia e integración de organismos que dan lugar a la complejidad, delinean la coordinación entre las partes vivas de Gaia como superorganismo. Así, y como analogía, los organismos somos a Gaia lo que las células son a nosotros. No puede haber, competencia entre las células, sino más bien, coordinación y colaboración hacia el fin superior del organismo, o Gaia a nivel macro.³⁸

3.5 LA SIMBIOGÉNESIS DE L. MARGULIS

La teoría simbiótica de Margulis está ampliamente aceptada, aunque a autora la enlaza con de la selección natural. El fenómeno de la simbiosis y la simbiogénesis relanzan la perspectiva kropotkiniana hacia un estudio de los seres vivos desde la cooperación.

Margulis sostiene que la variación genética de las especies no obedece tanto a la mutación aleatoria, sino a la endosimbiosis, esto es, la incorporación de genomas; habitualmente, entre organismos celulares. En pocas palabras, tras largos periodos de vida en común dependencia, los organismos unicelulares pasan a formar uno nuevo, uniendo sus genomas. De acuerdo con esta idea, las bacterias unicelulares dieron lugar a las células eucariotas —las mitocondrias y los cloroplastos, fueron en su momento organismos aislados— y, siguiendo el procedimiento, las eucariotas dieron lugar a los pluricelulares en un nuevo salto acelerado de complejidad. Su teoría se puede desglosar en las siguientes hipótesis: 1) Los microbios sometidos a estrés tienden a solucionar sus problemas mediante la unión con otras formas de vida. Ej. liquen (es la unión simbiótica entre un alga y un hongo); 2) la asociación y dependencia de los organismos, llevará a convertirlos en una única entidad irreversible; 3) la integración se puede realizar por genomas enteros o partes de ellos; 4) admite que entre la mutación puntual y la endosimbiosis completa hay gradación y diversidad de caminos para la novedad: acumulación de virus, de plásmidos,³⁹ fragmentos de DN, genes o genomas completos; 4) por tanto, la especiación surge de los procedimientos e incorporación genómica, en el que el organismo es un consorcio de simbiontes. A modo de ejemplo, el ser humano requiere la microbiota de su sistema digestivo para vivir e incluso, están apareciendo investigaciones sobre la vinculación de la enfermedad mental y el eje microbiota-intestino-

³⁸ De Castro, C., *Op. cit.*, 2020, pp. 138-144.

³⁹ Molécula de ADN separada de la cadena principal, es muy frecuente en las bacterias y algunas eucariotas.

cerebro.⁴⁰ Las hipótesis de Margulis se conjuntan en la noción de “transferencia horizontal”, es decir, la capacidad de pasar elementos genéticos entre las especies.

Algunas implicaciones que explora De Castro y que ayudan a la configuración de la TGO son las siguientes. La simbiogénesis muestra cómo los seres vivos están compuestos a su vez por otros más pequeños: protistas, bacterias o virus, de manera que el organismo no se puede entender como un individuo aislado, sino como un compuesto, como un simbionte —de nuevo una imagen que daña al antropocentrismo—. Así, la termita está formada por sus protistas y bacterias, mientras, ella forma parte del termítido junto con los hongos que ha domesticado. El termítido será el superorganismo que incluye de manera simbiótica a los organismos menos complejos. Si ampliamos el nivel, el termítido es una estructura de su ecosistema y así, el conjunto de ecosistemas daría lugar a la biosfera o Gaia. Se permite hacer un recorrido desde el nivel micro hasta el nivel completo, integrado y holístico de la TGO. Mientras la tradición darwinista representa la evolución como un árbol del que se dividen ramas, la visión simbiótica se representa como un coral del que surgen múltiples ramas que se entrecruzan, retroceden y enredan, algunas continúan con mayor éxito mientras otras se estabilizan o desaparecen. Aquí al cruzarse por transferencia horizontal la información genética, la noción de competencia pierde relevancia en favor de la cooperación hasta la integración.

La ventaja de la simbiogénesis es que al transferirse cadenas genéticas más o menos completas entre organismos, se transfiere mayor cantidad información para facilitar la generación de estructuras u órganos complejos. En este sentido, responde a una forma de evolución acelerada que puede omitir los eones que requiere el gradualismo darwiniano, el neodarwinismo y el equilibrio puntuado. La simbiosis representa, pues, una explicación más sencilla sobre la velocidad de especiación y el incremento de la complejidad de los organismos, los dos graves problemas que De Castro venía señalando.

Ahora bien, a la teoría de Margulis también se le presentan ciertas dificultades o críticas. En las teorías anteriores se rechaza el lamarckismo —la posibilidad de que el organismo intervenga en las células germinales, como planteó en el XIX A. Weismann—. El neodarwinismo fortaleció este rechazo, aceptando el llamado “dogma de la biología molecular”

⁴⁰ El artículo informa que en la actualidad se están realizando investigaciones sobre la interacción microbiota-intestino-cerebro y su efecto en enfermedades mentales como trastornos en el desarrollo, autismo y Alzheimer. Andreo, P., García, N., y Sánchez, E., “La microbiota intestinal y su relación con las enfermedades mentales a través del eje microbiota-intestino-cerebro,” *Discapacidad Clínica Neurociencias*, Vol. 4, N° 2, 2017, pp., 52-58.

de F. Crick⁴¹ que afirma que la información genética sigue el curso lineal de: ADN-ARN-Proteínas, sin posibilidad de realimentación entre ellos. Sin embargo, en la teoría simbiótica parece aceptarse cierto lamarckismo, al menos, en la transmisión genética de los microorganismos, aunque habría que lanzar la pregunta de ¿en qué medida pueden controlar las bacterias qué información genética se transmiten para generar un organismo adaptativo? Tal es así que De Castro observa que, como en el caso de las mutaciones aleatorias, la mayoría de fenómenos simbióticos resultarían neutros o perjudiciales más que beneficiosos. Por tanto, habría que pensar la posibilidad de cierto control y elección en los procedimientos de transferencia genética por parte de los organismos en proceso de simbiosis.⁴² Otra cuestión es proponer la simbiogénesis en organismos complejos, parece difícil aceptarla en este plano. ¿Es posible la simbiogénesis entre un gorrión y un pájaro carpintero?

De Castro indica que esta teoría no presta suficiente atención a la tecnología, las actividades de modificación del entorno por parte de los seres vivos. Observa que la teoría de Margulis sigue cercana al papel adaptativo de los organismos y, aunque la bióloga colaboró con Lovelock en la hipótesis Gaia, y afirma que vivimos en un planeta simbiótico, no se propone explicar cómo surge ni cómo evoluciona, dos tareas que se propondrá en la TGO. Si bien, con Margulis se le da una vuelta a la concepción común de los virus y las bacterias, ya que son los principales agentes evolutivos desde los que se ha ido dando la especiación.

Finalmente, las observaciones de Margulis y de Bárbara McClintock, premio Nobel en 1983, sobre cierta reorganización los genomas en el mecanismo de los transposones o secuencias genéticas que implican la interacción entre ADN, ARN y proteínas,⁴³ han contribuido a romper el “dogma de la biología evolutiva” y a considerar cierto neolamarckismo en los ácidos nucleicos que la TGO está abierta a acoger.

4. TENSIÓN ENTRE DARWINISMOS Y TEORÍAS GAIANAS EN LOS CONCEPTOS DE “ADAPTACIÓN” Y “TECNOLOGÍA”

Se ha dicho anteriormente que el holismo gaiano representa un paradigma muy distinto respecto el mecanicismo reduccionista de la tradición moderna en el que se incardinan el

⁴¹ J. Watson y F. Crick descubrieron la estructura de doble hélice el ADN, apoyándose en los datos de R. Franklin y M. Wilkins.

⁴² *Ibid.*, p. 166.

⁴³ Cfr. “Bárbara McClintock”, *Wikipedia*, en: https://es.wikipedia.org/wiki/Barbara_McClintock, (visitado: 12/08/2024).

lamarckismo, el darwinismo, el neodarwinismo y la endosimbiosis —a pesar de que Margulis haya colaborado en el desarrollo de la hipótesis Gaia, entiende que amplía el darwinismo—.

Se puede detectar una importante tensión entre las teorías, digamos, de la cosmovisión moderna, y las gaianas en el concepto de “adaptación”. Mientras las primeras tratan de explicar el fenómeno de la evolución de los seres vivos teniendo en cuenta su adaptación al medio, siendo los organismos esencialmente pasivos y sometidos al azar de las mutaciones y la selección natural; las teorías gaianas inciden en la modificación del entorno —capacidad que De Castro llamaba tecnología— por parte de los organismos para facilitarse a sí mismos la vida. Dicho de otra manera, las primeras teorías entienden la adaptación de los organismos sin apenas modificación del entorno —que llevaría su propia deriva evolutiva—; al tiempo que las segundas insisten en las actividades por las que los seres vivos transforman la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera, dando lugar a la biosfera. Adaptan el medio a través de la tecnología. En este sentido, ambos grupos teóricos tensionan su explicación de la evolución de los seres vivos en el concepto “adaptación” o “adaptabilidad”. Su etimología indica que procede del latín con el prefijo *ad* que significa “hacia”, “aproximación”, y el verbo *aptare* que se vincula con ajustar, aplicar, ceñir y equiparar.⁴⁴ Si atendemos a la raíz, las teorías se debaten, por tanto, quién se aproxima y se ajusta a qué.

De acuerdo con el autor, Darwin tiene algún escrito sobre la modificación del entorno;⁴⁵ mientras que el neodarwinismo ha ido avanzando en la investigación de las unidades cada vez más pequeñas de los seres vivos —en línea con los procedimientos analíticos y reduccionistas—, hacia los ácidos nucleicos y proteínas, dejando de lado la acción tecnológica de los seres vivos sobre el medio.

Desde la primera hipótesis Gaia de Lovelock se han desarrollado diversas teorías con menor o mayor grado de acercamiento al neodarwinismo. Se entienden por teorías Gaia débiles, aquellas que pretenden ampliar y reconciliarse con el neodarwinismo; por su parte, las más alejadas que llevan a sus máximas consecuencias el holismo y la consideración de que Gaia es una emergencia u organismo capaz de regularse a sí mismo los parámetros que permiten la vida: temperatura, composición atmosférica, ciclos del agua, del carbono, el fósforo, el nitrógeno, etc.), salinidad de los mares, acidez de los suelos, son conocidas como teorías Gaia fuertes. Estas últimas no pretenden una explicación de la evolución a través de los conceptos

⁴⁴ “Etimología de ‘adaptar’”, *Diccionario etimológico de Chile*, en: <https://etimologias.dechile.net/?adaptar>, (visitado: 15/08/2024).

⁴⁵ Cfr. Reseña al texto de Darwin sobre la transformación del suelo por parte de las lombrices. Rey, P., “La formación del mantillo vegetal por la acción de las lombrices, con observaciones sobre sus hábitos”, de Ch. Darwin, *Métode*, Nº 73, 2012.

de selección natural, adaptación y reproducción, mutación genética, gradualismo y causalidad (entre otros). Este grupo constituye la base para elaborar la explicación neodarwinista. Las explicaciones gaianas adoptan la perspectiva holista, teniendo en cuenta los efectos de los seres vivos en los parámetros antes citados y cómo estos mismos afectan a los propios organismos —fenómeno de realimentación—. Sus explicaciones se realizan a través de la interpretación de modelos matemáticos y representaciones gráficas realizados a con la teoría de sistemas. Tienen en cuenta las interrelaciones y realimentaciones de las partes y el todo que se esté estudiando. En este caso, los animales y/o ecosistemas —las partes— y el todo —Gaia—. El lenguaje que utilizan es tomado de la termodinámica de sistemas abiertos y sus categorías pretenden señalar los procesos dinámicos de intercambio de energía, materia e información. Aquí cobran importancia conceptos como: sistema abierto, entropía o disipación de energía, emergencias, ciclos, cooperación, simbiosis, holobiontes, homeostasis, equilibrio y finalidad o *télos* (aunque este último es particular de la TGO) entre otros.

Aunque ambos lenguajes comparten el concepto de “adaptación” opera como el criterio desde el que se va deslindando un modelo explicativo del otro. En su reducción más simple, para el neodarwinismo, los organismos se adaptan al medio; para las teorías gaianas en su versión más fuerte, la TGO de De Castro, es la biosfera o Gaia entendida como un organismo la que determina las condiciones a las que se adaptarán sus partes, esto es, los seres vivos. En este punto, del uso de la tecnología de los organismos emergearía Gaia como organismo que moldearía a la Tierra —hagamos el experimento mental de pensar cómo sería el planeta si, de repente, desapareciese toda la vida durante, al menos, doscientos años. Nos quedaría la imagen del planeta “muerto” en estado de equilibrio físico-químico; análoga la imagen de Marte sin vida que propuso Lovelock en su primera hipótesis— para adquirir las condiciones favorables en las que medran los seres vivos. Así pues, poner el peso de la teoría en la tecnología de la Gaia Orgánica, en su nivel holístico, resta importancia a la adaptación y a la selección natural. En último término, habría que valorar si la selección natural es impuesta por los condicionantes de temperatura, salinidad, acidez, etc., sobre los organismos y, si acaso, sobre las especies.

Como vemos, ambos marcos teóricos, se acercan a los fenómenos naturales desde cosmovisiones distintas. Las teorías débiles gaianas no tratarían de establecer uno nuevo, sino que buscarán una posición intermedia con la teoría evolutiva clásica; mientras que la TGO, como sostiene De Castro, abre un nuevo paradigma. Considera, de hecho, que las aportaciones de Margulis serían, por analogía, un cambio de paradigma similar al copernicano una vez se acepte por completo en las ciencias de la vida. Lo que consideramos, impulsaría el interés por las teorías gaianas fuertes como la TGO que articuladas no tanto en la competencia, sino en la

misma simbiosis y la cooperación. La TGO se muestra así en un paradigma o concepción del mundo incommensurable —en términos kuhneanos— con el anterior.

La actualidad sobre la pertinencia de aceptar o no aceptar la teoría Gaia para el cambio del desgastado paradigma moderno se explicita, en este país, en el diálogo entre Luis Arenas⁴⁶ y Jorge Riechmann.⁴⁷ Arenas inicia el debate sobre el cambio de paradigma. Riechmann comparte con él sus dos primeras tesis, a saber: a) la cosmovisión cartesiano-newtoniana o mecanicista que considera a la naturaleza como una *res extensa* es inadecuada para abordar la crisis ecosocial que nos envuelve; b) enfrentar al cambio climático implica superar nuestra civilización en distintos ámbitos a la vez: superar el capitalismo, orientar la ciencia y la técnica al servicio de las necesidades humanas, redefinir los imaginarios y deseabilidades individuales y colectivas, optar por éticas no antropocéntricas, etc.

Sin embargo, la discrepancia sucede en la valoración de Gaia como metáfora adecuada para llevar implementar el paradigma orgánico distinto el mecanicista. Riechmann plantea que el neodarwinismo nacido en las coordenadas de pensamiento del mecanicismo tiene que ser superado, apunta que las hipótesis Gaia se manejan con la teoría de sistemas adaptativos complejos —de manera similar a cómo decíamos arriba—. Mantiene, en general, la validez científica de las teorías Gaia que defienden la idea de que los seres vivos influyen en el medio, dando lugar a la coevolución; yendo un poco más allá, es la vida la que con su acción genera condiciones que favorecen a la propia vida, por lo que Gaia es el supersistema homeostático que emerge de la interacción entre la biota y la biosfera. La TGO como teoría fuerte implica aceptar que Gaia es un organismo —aunque esta discusión será para otro momento—.

Las críticas de Riechmann apuntan los siguientes aspectos que sostiene Arenas. Primero, Arenas tiene sus reservas sobre la compatibilidad de Gaia con el neodarwinismo; y es, precisamente esto, lo que Riechmann pone en tela de juicio. Si se pretende desmarcarse del mecanicismo moderno, hay que hacerlo también del neodarwinismo nacido en su paradigma; invita a realizar una comparación. Segundo, Arenas cuestiona el *potencial narrativo*⁴⁸ de Gaia para que sea aceptado por grandes capas de la población. Riechmann ve aquí una cuestión política, en la que no cabe aceptar la teoría o no en función de su aceptación en la discusión político-social, sería un error. Por otro lado, Arenas entiende que, si la teoría Gaia es correcta,

⁴⁶ Cfr. Arenas, L., “¿Es Gaia el cosmograma que necesitamos?”, *Pensamiento al margen*, 18, 2023, pp. 65-71, en: <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/133405>, (visitado: 17/08/2024).

⁴⁷ Riechmann, J., “Decididamente, sí: Gaia forma parte del cosmograma que necesitamos,” *Hábitat y sociedad*, 19, pp., 167-190, en: <https://revistascientificas.us.es/index.php/HyS/article/view/24240/21621>, (visitado: 17/08/2024).

⁴⁸ Cursiva de Riechmann.

los humanos tenemos poco papel activo en ella, pues, entendemos, así que se pierde libertad bajo los mecanismos y condicionantes gaianos. Esta idea guarda cierta analogía con el debate sobre el papel del sujeto revolucionario respecto a las crisis inevitables de la revolución en las primeras décadas del marxismo. Aquí Gaia jugaría como la creencia en la inevitabilidad del fracaso capitalista con sus crisis. Ocuparía el lugar del determinismo biológico como el determinismo económico frente a los que los humanos y/o los sujetos revolucionarios no tendrían un papel activo ni en la vida ni en la transformación social.

Para Riechmann, los seres humanos como agentes morales tienen la tarea de buscar y realizar un buen encaje con Gaia, en tanto que somos, holobiontes⁴⁹, dentro el gran sistema simbiótico y dinámico gaiano, por lo que las bases neodarwinistas se ven resquebrajadas. Abrirse a Gaia y cuestionar el antropocentrismo, no implica reconocer nuestras capacidades como animales morales especiales. Aunque como apunta el autor, las investigaciones muestran que otros animales no humanos poseen también cierta capacidad de conciencia localizada, pero no en el neocórtex como habitualmente se tiende a pensar, sino en su zona posterior, lugar compartido con muchas otras especies⁵⁰ —investigaciones a las que habría que sumar las Declaraciones sobre la conciencia de 2012 y de 2024—. Tampoco la aceptación de Gaia supondría un desplazamiento a la teología —como en otro punto, señala como posible, Arenas—. Gaia no es una diosa a la que ofrecer sacrificios o rezar, sino que merece su debido reconocimiento y respeto. Gaia es un sistema global complejo que nuestra actividad ha puesto en una situación de desequilibrio y riesgo para supervivencia de nuestra propia vida y de otras muchas especies.

Aunque el debate queda abierto y Riechmann continúa la discusión con las posiciones que defiende Arenas, nos interesa resaltar aquí la actualidad del debate en torno al cambio de cosmovisión o cosmograma —como, a veces, dicen los autores—. Es clave el argumento de Riechmann en el que observa, como hacíamos antes nosotros, la incommensurabilidad del lenguaje neodarwinista con el gaiano en la teoría Gaia fuerte de De Castro, frente a las gaias débiles reconciliadoras. En otro momento, habría que reflexionar con hondura sobre el lugar del *homo sapiens* y sus responsabilidades especiales.⁵¹

⁴⁹ Introducido por Margulis cuyo motivo es referir en la constitución asociada de los macroorganismos con otros microorganismos como las bacterias.

⁵⁰ Riechmann, J., *Op., cit.*, “¿Es Gaia el cosmograma que necesitamos?”, 2023.

⁵¹ En la prolífica obra de Riechmann, seguro encontraríamos ideas en las que introducirnos.

5. LA TEORÍA GAIA ORGÁNICA

5.1 DIVERSAS TEORÍAS GAIA

Hemos adelantado la distinción entre teorías Gaia débiles y fuertes en función de su cercanía al neodarwinismo y su pretensión de compatibilidad. De Castro refiere a la clasificación orientativa que se viene utilizando desde 1989.

En primer lugar y como hipótesis más débil, está la Gaia “coevolucionaria”. Asume que la vida y el entorno se modifican mutuamente, Gaia es absorbida por el neodarwinismo y no requiere de hipótesis nuevas para explicitar nada sobre ella. En segundo lugar, la hipótesis “homeostática”, amplía la anterior y establece que las condiciones del entorno se restringen a un rango de habitabilidad que ocurriría por azar, es llamada también “Gaia afortunada” La primera de las hipótesis fuertes es la “optimizadora” que defiende que la biosfera mantiene el entorno en estado óptimo para la vida desde la aplicación de las leyes de la termodinámica a la biosfera y los seres vivos. Por último, la más radical —que reabriría el organicismo— es la “geofisiológica” que fue lanzada por Lovelock en *Gaia: una nueva visión sobre la Tierra* en 1979. En ella con las aportaciones de Margulis, plantea una Gaia orgánica. Sin embargo, a partir de las críticas y los debates posteriores Lovelock ocupará posiciones ambiguas acercándose a una Gaia homeostática que tratará de combinar con el neodarwinismo. Por su parte, Margulis rechazará la idea de Gaia como organismo argumentando que éstos no viven de sus desechos⁵² —no se realimentan de la materia de desperdicio que generan—. De Castro recoge el testigo de la hipótesis Gaia inicial de Lovelock para desarrollar su propuesta: la Teoría Gaia Orgánica en la que postula a Gaia como un superorganismo coordinado en sus partes —la biosfera—, evolutivo y teleológico con todas sus consecuencias.⁵³

5.2 DEBATE SOBRE EL CONCEPTO DE ORGANISMO: LA GAIA ORGÁNICA

Las teorías de la evolución de los seres vivos tienen como principal objeto de estudio los organismos concretos, sus propiedades, cómo evolucionan y/o se adaptan, los recursos que son capaces de utilizar, su reproducción, etc., y de manera radical, la especiación; la aparición de especies nuevas y sus derivas a partir de las existentes.

⁵² De Castro, C., *Reencontrando a Gaia*, 2019, p., 125.

⁵³ De Castro, C., “En defensa de una teoría Gaia orgánica”, *Ecosistemas*, N.º 22, 2013, pp., 113-118.

Aquí se encuentra un debate fundamental: ¿qué es un organismo? Hemos visto que las teorías evolutivas clásicas se centraban en el individuo o ente concreto, sus mutaciones adaptativas y su selección natural; sin embargo, la visión de Margulis nos ha transformado esta concepción, dando lugar al holobionte que muestra la asociación de especies simbióticas de los organismos, aunque como veíamos, ella rechaza que Gaia sea un organismo porque no vive de sus desechos. Idea que critica de Castro, pues parece que Margulis tiene la mirada puesta solo en los organismos heterótrofos. Pero sucede que, si prestamos atención, buena parte de los organismos heterótrofos poseen cierta complejidad, e incluso viven en sintonía simbiótica con otros más simples como bacterias o virus —recordemos nuestra microbiota—. Recoge De Castro, que Lovelock ya se encontró con la dificultad de definir “organismo”, y algunas de las críticas que se realizaron a su hipótesis inicial fueron, precisamente, por considerar a Gaia un organismo vivo. Algunos observan que definir Gaia como organismo no es más que una metáfora sin carácter científico —de igual manera podríamos pensar en la metáfora del reloj como imagen de la naturaleza en las leyes del mecanicismo—. Críticos, como Richard Dawkins,⁵⁴ entienden que uno de los rasgos fundamentales para considerar a un ente como organismo es que haya sido objeto de la selección natural. De Castro responde que no se puede definir el objeto de estudio para que encaje con la teoría que se defiende. Otras posturas añaden la necesidad de que el organismo posea ADN. Desde la termodinámica, algunos ven a los seres vivos como sistemas alejados del equilibrio, aunque estabilizados por la entrada de energía, materia e información y la producción de entropía —veremos que la TGO se alimenta, también de esta definición—. Otras definiciones apuntan a las propiedades del ser vivo: organización celular, sensibilidad (respuesta a estímulos), metabolismo, desarrollo, regulación y homeostasis, y, aunque la reproducción es importante, lo relevante es que el organismo proceda de otros, puesto que, por ejemplo, consideramos a una hormiga obrera organismo, pero carece de capacidad reproductiva; o, por ejemplo, el liquen que surge de la simbiosis entre un hongo y un alga.⁵⁵ Gaia, por tanto, tendría estas características, provendría de organismos menos complejos —sus partes y ecosistemas en simbiosis—.

No obstante, De Castro da una definición flexible que no pretende ser excluyente: “organismo sería aquel ser altamente complejo con funciones de autorreparación, metabolismo, ciclado elevado de materia, evolutivo, reproducido y con potencial reproductivo a lo largo de

⁵⁴ Autor de *El gen egoísta* de 1976, donde mantiene que la unidad de selección no es el organismo, sino los genes; quienes, además, son los responsables de generar conductas que consideramos moralmente altruistas como estrategia de supervivencia.

⁵⁵ De Castro, *Op. cit.*, 2013, p. 116.

su historia. Entonces, tanto una bacteria, como un árbol, como quizás un termitero y como Gaia, lo serían y se podría comprobar para cualquier otro candidato que se propusiera.”⁵⁶ De estas características, emerge que la cualidad del *telos*, esto es, tiene propósitos o fines —ya habíamos avanzado el rechazo del mecanicismo a las explicaciones teleológicas, sin embargo, tiene largo recorrido en la historia de la ciencia y en los campos de la etología, la ecología y parte de la biología—.⁵⁷

5.3 BASE TERMODINÁMICA DE LA TGO: SISTEMAS DINÁMICOS DISIPATIVOS Y LA ENTROPIA

Una de las virtudes de la TGO es que incorpora la evolución de los seres vivos a la evolución del universo. Esta unión se realiza con apoyo de las leyes de la termodinámica.⁵⁸ La implementación de la termodinámica para extender las bases desde las que comprender la biología evolutiva tiene precedentes en otros autores como el propio Lovelock —quien la combinará con el neodarwinismo—. Otros investigadores mantienen que la segunda ley de la termodinámica, la entropía —que postula que toda energía tiende a disiparse— y la Máxima Producción de Entropía (MEP) o cuarta ley⁵⁹ —la energía sigue los caminos de disipación o distribución más rápidos— actuarían como fuentes directoras de la evolución hacia las especies más eficientes. Ambas leyes constituyen el principio selector, frente a la tradicional selección natural, y lograrían la homeostasis o equilibrio que garantiza la habitabilidad de la biosfera.

La TGO, a diferencia de las anteriores, admite la segunda y la cuarta ley de la termodinámica —invariablemente, también la primera y la tercera—⁶⁰ como estabilizadores de los sistemas complejos —por ejemplo, un ecosistema como la selva amazónica—, pero no reduce su explicación de los seres vivos a las leyes de la física, se vale también de hipótesis de la biología y de la ecología.⁶¹

La TGO sostenida en la termodinámica nos ofrece dos miradas: sobre los seres vivos y ecosistemas, y Gaia. Primero, los seres vivos y los ecosistemas —las partes de Gaia— se

⁵⁶ *Ibid.*, p., 117.

⁵⁷ *Ibid.*, p., 117.

⁵⁸ El vínculo entre la física y la biología a partir de las leyes de la termodinámica y, sobre todo, el papel que juega la entropía lo abordaremos desde *Reencontrando a Gaia*, en tanto que en el capítulo “2. Gaia y la entropía” se expuesto en *El origen de Gaia*.

⁵⁹ De Castro informa que está en desarrollo actualmente.

⁶⁰ La primera sostiene que la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma. La tercera afirma la imposibilidad de alcanzar la temperatura del cero absoluto: 0º K o -273, 15º C.

⁶¹ De Castro, C., *Op. cit.*, 2013, p. 114.

muestran como Sistemas Adaptativos Complejos (CAS)⁶² interrelacionados con otros sistemas y con diferentes formas de alimentación y realimentación de materia, energía e información —lo que se conoce como flujos en términos físicos—. Por su parte, la termodinámica ayuda a ver a Gaia como un todo vivo, con sus partes coordinadas para la homeostasis en los parámetros de Gaia. Esta —de acuerdo con la 4^a ley— tiende a distribuir los flujos energéticos y materiales, siguiendo los caminos más eficientes encarnados en la multiplicidad de seres vivos, orientados hacia una complejidad cada vez mayor. La fuente de energía que toma Gaia y con la que cumple las leyes de la termodinámica procede del Sol. Su energía es el gradiente —que en términos sencillos podemos definir como la magnitud energética que se distribuye en un sistema— que emplea Gaia en mantenerse y evolucionar.

De Castro explica que la termodinámica se inició para sistemas cerrados, esto es, modelos ideales sin pérdida de calor —o energía—. Pero lo cierto es que los sistemas reales son abiertos y por ello, su energía, materia e información están en movimiento y transferencia, siguiendo la ley de la entropía, la tendencia a distribuir o disipar energía. Es importante señalar que, en un sentido popular, la entropía se ha entendido de manera negativa en tanto referente a desorden, caos y muerte térmica. De Castro defiende una concepción positiva de la entropía, una ley a través de la cual el Universo comparte y distribuye su energía. La define del siguiente modo:

Si existen varios caminos para aumentar la entropía, se favorecerá el más rápido de acuerdo con los grados de libertad locales que se tengan.⁶³

La cita expresa la tendencia que sigue la entropía de repartir la energía por las vías más eficientes. La cuestión es la referencia a “los grados de libertad locales que se tengan”. Sucede que la energía en su estado físico-material alcanza la “solidez” o impenetrabilidad que experimentamos en la vida cotidiana en cada uno de los objetos y seres de la naturaleza. Por ello, aunque a nivel termodinámico los sistemas están en permanente intercambio energético, lo que percibimos como entes individuales poseen cierta estructura atómica, cierto grado de

⁶² Los organismos como CAS aparecen descritos sobre todo en *El origen de Gaia*, en *Reencontrando a Gaia* el término apenas aparece, aunque no cambia la interpretación de los organismos como sistemas adaptativos complejos y dinámicos abiertos al intercambio energético.

⁶³ De Castro, C., *Op. cit.*, 2020, p. 71.

desaceleración en el intercambio para conformar dichas entidades limitadas entre su interior respecto al exterior —por ejemplo, nosotros mismos con el límite de nuestra piel—. Los grados de libertad son así los caminos por los que las entidades interactúan y a través de los cuales intercambian materia y energía con mayor o menor velocidad. La cuarta ley mantiene que la energía se repartirá por los caminos más rápidos y eficientes en función de las entidades materiales que participan en el sistema de intercambio energético.

Las bases físicas de la TGO con la termodinámica de sistemas disipativos —abiertos— del físico ruso I. Prigogine quien propone que todo sistema se puede describir con un esquema tripartito formado por: estructura, función y fluctuación, y sus realimentaciones. Lo que De Castro llama “trinomio de Prigogine”.⁶⁴

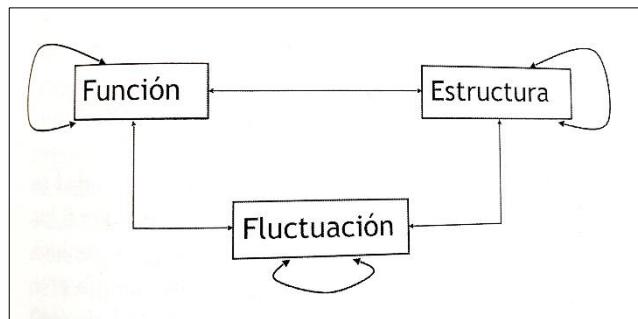


Figura 2: Trinomio de Prigogine. Fuente: Reencontrando a Gaia, p. 83

- La estructura es el conjunto que identificamos como sistema. Una vez formado, determina causalmente las funciones que operan en su interior. Ej. una célula se define por sus límites —su membrana— y dicta a sus proteínas lo que deben hacer.
- La función o funciones son las partes del sistema cuyas relaciones forman la estructura. Ej. los orgánulos, proteínas y moléculas de la célula
- Fluctuación o fluctuaciones son los intercambios de energía, materia e información de los cambios del entorno y de las funciones y estructura. Influyen sobre estas últimas. Ej. una mutación en un gen. Se dan realimentaciones internas entre cada elemento y entre todos los elementos del sistema.⁶⁵

⁶⁴ Cfr. La Figura 1. *Método científico enriquecido con retroalimentaciones* surge de la aplicación del Trinomio de Prigogine a la estructura de la investigación científica y el paradigma que sustenta.

⁶⁵ *Ibid.*, p. 82.

El trinomio da lugar a sistemas disipativos que se realimentan a sí mismos. En un momento dado, la realimentación genera un salto cualitativo en el sistema, dando lugar a propiedades emergentes que no se podían derivar de las anteriores.⁶⁶ De acuerdo con De Castro, los seres biológicos son sistemas disipativos y complejos, por lo que el trinomio debe ser coherente en distintos niveles de sistemas biológicos, como una bacteria, un ecosistema o Gaia.

Como decimos, la aplicación del trinomio a sistemas complejos diluye las fronteras entre “organismo” y “ecosistemas”, tanto desde el punto de vista de distribución de energía y materia como desde el holismo que incluye niveles simbióticos de organismos dentro de ecosistemas con Gaia como superorganismo que incluye todas las funciones integradas y coordinadas. El estudio del bioma —bacterias y virus— del cuerpo humano, puede ser pensado desde la interacción como ecosistema.⁶⁷

5.4 NEOLAMARCKISMO EN LA TGO

La teoría sintética, decíamos arriba, sea ha visto obligada a aceptar cierta realimentación entre los ácidos nucleicos —ADN, ARN y proteínas— con Margulis y McClintock, esto es, mecanismos neolamarckistas. Pero, llevado a su extremo en la teoría sintética resulta que un organismo capaz de modificar su genotipo, resultaría altamente adaptativo y podría sobreponerse a la selección natural, poniendo en riesgo la clave de bóveda de la teoría.

Sin embargo, desde la TGO se afirma que es Gaia la que controla, mediante su *telos*, la imposibilidad de que surjan individuos excesivamente adaptados o con capacidades de alta tecnología para la modificación del entorno; si se diese esta última situación a gran escala, Gaia quedaría desequilibrada. Así como nuestras células funcionan para sí mismas, aunque el fin último sea nuestro organismo, los organismos deben ser limitados por Gaia para que no se conviertan en “células” tramposas o cancerígenas. “Los genes serían modificados no solo aleatoriamente, sino con un propósito que serviría al organismo o, mejor, a Gaia.”⁶⁸ Gaia establecería los límites para las mutaciones en los ácidos nucleicos de tal manera que los

⁶⁶ Cfr. “2.1 Perspectiva holista y concepción de la ciencia.” Como anunciábamos antes los sistemas disipativos descritos con Prigogine, apoyan el paradigma holista gaiano. La visión de la estructura (el todo o sistema que tiene en cuenta la investigación) conformada por sus funciones (partes) y las realimentaciones que afectan a estructura y funciones por parte de las fluctuaciones, dificultan el paradigma mecanicista compositonista apoyado en una sucesión lógica de causa y efecto. El emergentismo se opone al experimento mental del “demonio de Laplace” por el que una mente lo suficientemente inteligente debería poder conocer la totalidad de los estados pasados y futuros del universo, mediante una fórmula y el conocimiento del estado actual del universo. El teorema de Gödel apoya al emergentismo e impide a esta superinteligencia modelarse, modelando el estado futuro del universo. Se encontraría en la paradoja recursiva.

⁶⁷ De Castro, C., *Op. cit.*, 2020, pp., 97-98.

⁶⁸ *Ibid.*, p. 103-104.

organismos no se “sobreadaptaran” o, mejor, no se excediesen en el uso de su tecnología, pues pondría en peligro el automantenimiento del superorganismo gaiano.

Aquí nos encontramos con el problema teleológico. ¿podemos concebir un procedimiento a través del que Gaia interviene en la genética para modificar los propósitos de los organismos —partes— y redirigirlos hacia los de Gaia? o ¿cómo investigar —no hablaremos de mecanismo, para evitar cercanía con el paradigma mecanicista— la acción condicionante de Gaia en las mutaciones? De Castro da algunas pistas. El establecimiento de la capa de ozono y la reducción de radiactividad planetaria permiten a Gaia garantizar cierta estabilidad en las mutaciones, sin embargo, cabe hacerse la pregunta en otros términos: ¿cómo controla el superorganismo Gaia las interacciones neolamarckistas entre ADN, ARN y proteínas? Desde el mecanicismo, se trataría de rastrear causalidad lógica, pero la perspectiva de sistemas y el emergentismo impiden este procedimiento. Por el momento, creemos que la cuestión quedaría abierta.

5.5 COMPLEJIDAD, TIEMPO Y EVOLUCIÓN DE GAIA

El tiempo y la complejidad eran problemas que, siguiendo a De Castro, resultaban deficientemente abordados en las teorías mecanicistas de la evolución. Son dos aspectos que desde la TGO se explican bajo hipótesis plausibles.

Primeramente, la primera hipótesis mantiene lo siguiente, a saber: la termodinámica justifica el incremento de la complejidad desde la 4º ley de la termodinámica. Los seres vivos, como entes complejos, son vistos, así, como tendencia de la misma naturaleza, no resultan tanto un “milagro de la vida” frente al abismo del Universo. Desde tal tendencia, la integración de unos organismos en otros mayores en jerarquía implica siempre un traslado de finalidades a la estructura mayor: del orgánulo a la célula, de la célula a la termita, de la termita al termitero, del termitero al ecosistema, y de estos a Gaia. Siguiendo a De Castro, aunque la tendencia desde la termodinámica es hacia una complejidad mayor, y, a primera vista, nos parezca que el termitero es más simple que la termita; lo cierto, es que las termitas pasan a ser funciones del termitero de modo que su complejidad y diversidad de funciones quedan integradas en la complejidad del termitero. Veamos la imagen de los trinomios aplicados en la jerarquía del termitero.⁶⁹

⁶⁹ Cfr. con Figura 2: *Trinomio de Prigogine*.

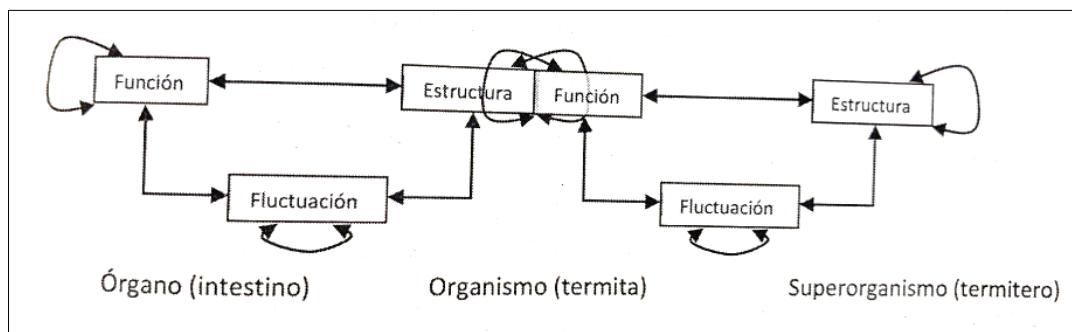


Figura 3: Jerarquía de trinomios hasta Gaia. **Fuente:** Reencontrando a Gaia, p. 91

En segundo lugar, la segunda hipótesis se apoya en la simbiogénesis. Veamos. La complejidad se incrementa también desde la biología, pues los organismos son proactivos. Su actividad tecnológica por la adaptan el entorno a sus necesidades, produce coordinación, integración y reciclado de los elementos físico-químicos que alimentan a los organismos, a los ecosistemas y mantienen en equilibrio los parámetros de vida gaiana. Además, los organismos se deben enfrentar a los factores limitantes del crecimiento, esto es, no pueden extenderse de manera ilimitada debido a las condiciones que los rodean. La simbiogénesis es la búsqueda activa de superación de los límites mediante saltos cualitativos. Se puede entender si pensamos en el paso que dieron las procariotas hacia las células eucariotas y, estas, a los pluricelulares. La endosimbiosis abre nuevos nichos de circulación entrópica de energía, materia e información, es capaz, por tanto, de superar los factores limitantes que rodean a las formas de vida iniciales que, en un primer momento fueron “estructura” —acudiendo a Prigogine—, para pasar a ser, posteriormente, “funciones” de organismos mayores. El salto simbiogenético cualitativo, mantiene De Castro, es un salto exponencial que acabará, equilibrándose con el entorno.⁷⁰

Cabe preguntarse, ahora, por el tiempo y el modo en que se han sucedido los saltos cualitativos hacia la complejidad. Nuestro autor, tras discutir algunas hipótesis del neodarwinismo, en relación a la cantidad y utilidad del ADN requerido para la construcción de los organismos, y rechazando la hipótesis de Gould, para quien la complejidad sería resultado del azar, pues sería la única vía posible; propone una estimación del incremento en complejidad exponencial, basada en la cooperación genética —a la que subyace la simbiogénesis— en la

⁷⁰ Otros autores como Gould, refiere el autor, sostienen que la tendencia a la complejidad es aleatoria, porque es la única vía posible. *Ibid.*, p. 108.

clasificación y la síntesis del biólogo Daniel W. McShea⁷¹ realizada a partir de otros autores. Así, la complejidad se caracterizaría por tres procesos: 1) incremento de jerarquía —como ejemplo, la procariota que pasa a ser mitocondria con la función metabólica en la célula eucariota—, también llamada “holarquía”; 2) incremento de diferenciación interna —o lo que es lo mismo, mayor número de partes funcionales y fluctuaciones en el interior del organismo que identificamos como estructura: orgánulos y fluctuaciones en la eucariota—; y 3) “maquinización” o transferencia de *telos*/propósitos de los elementos funcionales a la estructura mayor —propósitos de los orgánulos al servicio del propósito de la célula eucariota—. Con estos rasgos se aprecia cierto aumento de complejidad de carácter exponencial distinto al modelo basado en el azar como el de Gould, y que coincide, aunque con cierto margen de incertidumbre, con el registro paleontológico⁷² —aspecto que hace coherente la introducción de la TGO en la historia evolutiva del Universo—. El esquema sobre la evolución de los seres vivos de forma exponencial es el siguiente:

- 1: Primeros registros fósiles de bacterias: hace unos 3500 millones de años.
- 2: Registros fósiles de las primeras células eucariotas —surgidas por endosimbiosis de las bacterias—: Hace unos 1500 millones de años.
- 3: Primeros organismos pluricelulares: unos 750 millones de años.
- 4: Primeros superorganismos o insectos eusociales: termiteros con castas, hace unos 100 millones de años. Respecto a la aparición de estos organismos McShea mantiene la datación

⁷¹ Biólogo en la Universidad de Duke, en Durham (Carolina del Norte) con quien De Castro colabora activamente. De manera conjunta publicaron en la revista *Paleobiology* un artículo cuya tesis central es clave de la TGO, a saber: la aceleración en la complejidad en la evolución de los organismos procede de la realimentación desde los niveles superiores a los inferiores. Esto es, en tanto sistemas complejos, las totalidades orgánicas, explicarían las funciones y/o partes e interacciones interiores al sistema. Cfr. De Castro, C., McShea, D. W., “Applying the Prigogine view of dissipative systems to the major transitions in evolution”, *Paleobiology*, Cambridge University Press, 2022, en: <https://lanzarotebiosfera.org/wp-content/uploads/2023/01/Paleobiology-a-publication-of-the-Paleontological-Society.pdf>, (visitado: 03/09/2024). El artículo está disponible en inglés.

No obstante, ambos autores mantienen la tesis y señalan sus dos discrepancias más relevantes en una entrevista. Mientras De Castro considera la posibilidad de que los insectos eusociales puedan dar un nuevo salto en complejidad integrando comunidades de termiteros —por ejemplo, hipótesis previamente expuesta en los libros—, McShea se muestra reacio a creer que esto suceda. Sostiene que, si estos superorganismos no han evolucionado en los últimos 480 millones de años, tal vez hayan alcanzado su límite. La segunda diferencia es respecto a la consideración de Gaia como “organismo”. Hemos visto la importancia de este debate para la TGO y los rasgos que para nuestro autor indican que Gaia es un organismo vivo; por su parte, McShea señala que el debate en torno al concepto está abierto en biología. Se resiste a darle una definición en tanto que implicaría una delimitación frente a otro concepto, dando lugar a una dicotomía cuando hay discusión sobre si, por ejemplo, un virus es un organismo o cuántos brazos darían lugar a un organismo —la figura siamesa— desafía la definición de organismo en partes concretas. Esperaría una escala de organicidad variable desde los virus hasta Gaia. De Castro, C., y McShea, D. W., entrevista Del Buey, R., “¿Cómo reaccionar ante un nuevo cambio en cosmología? Una entrevista con Daniel W. McShea y Carlos de Castro”, *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, Nº 158, 2022, en: <https://www.fuhem.es/2023/07/19/entrevista-con-daniel-w-mcshea-y-carlos-de-castro/>, (visitado: 03/09/2024).

⁷² Recordemos que en *El origen de Gaia* la cuestión del tiempo de aparición de los seres vivos era uno de los motivos que inspiran al autor para la elaboración de la TGO.

aproximada de 480 millones de años. De Castro indica que se tratarían de las primeras colonias de briozoos —pequeños animales filtradores que se alimentan de microorganismos—, para nuestro autor estas colonias serían una transición incompleta.⁷³

La hipótesis de la TGO sugiere que al observar el salto de los organismos menos complejos a los más complejos hay un salto exponencial en el tiempo de aparición de unos a otros. De esta manera, De Castro sostiene que, si observamos el tiempo de aparición de las eucariotas, partiendo de las procariotas hay unos 2000 millones de años; y, si trasladamos hacia atrás en el tiempo hacia la “primera sopa química” como momento preorgánico, se requeriría al menos el doble de años, unos 4000 millones de años, para el surgimiento de las primeras bacterias. Esta aproximación vendría a coincidir con un periodo de la Tierra muy joven y con condiciones muy difíciles para la emergencia de la vida. Por ello, la TGO propone la hipótesis de la *panspermia* de las primeras bacterias, es decir, que habrían surgido en el universo hace más de 7.000 millones de años y habrían caído en la Tierra en algún momento antes de los 3.800 millones de años, coincidiendo con bombardeos intensos de meteoritos sobre el planeta. La predicción lanzada hacia adelante en el tiempo sugiere la hipótesis de que los insectos eusociales podrían seguir evolucionando hacia comunidades de termiteros, colmenas u hormigueros coordinados entre ellos en un periodo de 50 millones de años.⁷⁴

5.6 ORIGEN DE GAIA Y SUPERACIÓN DE LOS LÍMITES POR COORDINACIÓN Y RECICLADO

Mi hipótesis de la Gaia Orgánica postula que la biosfera es un organismo, a saber, una estructura orgánica formada por simbiosis coordinada de todos los vivientes. Para pasar la hipótesis a teoría necesitamos explicar cómo y por qué emerge la biosfera como organismo y convertir la teoría en verificable e, idealmente, en predictiva.⁷⁵

Esta sección la dedicaremos, como indica la cita, a exponer el origen de Gaia y sus rasgos orgánicos. Sin embargo, hemos visto el papel de la endosimbiosis ya. Aquí, el reciclado —o ciclado— o reutilización de energía y materia, o, en otros términos, los recursos que nos ayudan

⁷³ De Castro, C., *Op. cit.*, 2019, p., 120. (Ver nota al pie).

⁷⁴ De Castro, C., *Op. cit.*, 2020, pp., 99-124.

⁷⁵ *Ibid.*, p. 125.

a establecer la analogía entre organismo, ecosistema y por extensión a Gaia orgánica son esenciales. A ello se sumarán algunas de las predicciones más importantes que ofrece la TGO respecto al ciclado y homeostasis de los parámetros en los que vivimos.

Los límites del crecimiento de los seres vivos son un factor decisivo para el surgimiento de Gaia. La segunda y la cuarta ley de la entropía permiten concluir que la aparición de Gaia orgánica es una de sus consecuencias. La segunda —recordemos— mantiene que la energía tiende a repartirse, mientras que la cuarta afirma que siempre se distribuye por los caminos más eficientes, en función de los grados de libertad disponibles. Así, la complejidad, los organismos son caminos de distribución eficientes frente a lo que cabría esperar en un planeta sin vida. Desde el punto de vista de la evolución de la vida, las bacterias tuvieron que extenderse y encontrar limitaciones a sus poblaciones—algo similar a la idea de Malthus y Darwin—. Para superar el problema se presentaron dos posibilidades, al menos: primero, en la línea del neodarwinismo, competir por los recursos —lo que reduciría las posibilidades de complejidad y distribución eficiente, en tanto que reduciría la multiplicidad de seres vivos— y acumular desechos; o, coordinación y colaboración, siguiendo las intuiciones de Kropotkin y Margulis.

Desde esta estrategia de superación de límites se favorece el aumento de la complejidad y el reciclado de los recursos. Primero, se da la tendencia de la termodinámica al incremento de la complejidad y, además, la coordinación entre organismos permite la ocupación de nichos ecológicos que reciclan los llamados “desechos”. Lo que para unos serían desperdicios, para otros serán fuente de energía. La coordinación supone una respuesta de alto reciclado de las materias y recursos de los que viven los organismos, los ecosistemas y en último término Gaia. Los tres elementos comparten, integran y cooperan en el reciclado de elementos tan importantes como el agua, el oxígeno, el carbono, el nitrógeno o el fósforo. La complejidad coordinada que recicla los recursos es la respuesta a los límites del crecimiento en Gaia.

De Castro explica que el agua en nuestro cuerpo tiene una tasa de reciclado superior al 99,5 %. En palabras más sencillas, gracias a la coordinación de nuestros órganos, tejidos y células no tenemos que beber y evacuar más de 750 litros de agua al día. En la biosfera sucede lo mismo a gran escala con los ciclos del agua y de los elementos químicos. Respecto del agua, de las corrientes oceánicas como “circuito” de ciclado, se calcula que deben pasar entre 2000 y 4000 años para que una molécula recorra más o menos el circuito hídrico de la biosfera. Por su parte, el agua ayuda a lubricar la tectónica de placas que genera el vulcanismo y algunos de los elementos químicos citados. Gaia orgánica, surge entonces, como respuesta de coordinación y reciclado de los seres vivos y está en constante evolución seleccionando aquellos que permiten una mayor coordinación y eficiencia en la distribución de energía y materia.

Dos ejemplos son ilustran cómo los organismos trabajan para ellos, y a gran escala para Gaia. El autor recoge de Margulis el ejemplo del desove del salmón. No es que el pez recorra los mares y suba al río a dejar la puesta, cumpliendo únicamente su función como especie, si no que, desde el punto de vista holístico de Gaia, está contribuyendo al reciclado de nutrientes y a la fertilización de los bosques. De acuerdo con la autora, el fósforo de procedente de la descomposición del adulto alimentará a las diatomeas que servirán, a su vez, de comida para los alevines de salmón de la siguiente generación. E igualmente, los árboles contribuyen en gran medida en los ciclos del dióxido de carbono y el oxígeno, en el agua y la fertilidad de los suelos. Hemos dicho al inicio del trabajo que nuestros melocotoneros, con sus raíces elevan los nutrientes minerales, y ahora, sabemos que con ello integran en los procesos de ciclado gaiano. Es más, desde el punto de vista gaiano se puede argumentar que al morir los árboles y descomponerse, sus elementos formarán parte nutriente, en la capa superficial del suelo para facilitar el crecimiento de las nuevas plántulas —aunque el ciclado no se nunca al 100 % de eficiencia, siempre se perderá un mínimo de energía no aprovechable—. De acuerdo con De Castro, los árboles son más eficientes trabajando para Gaia que para sí mismos, la evapotranspiración del Amazonas supone el 50 % del agua de lluvia que cae allí. Incluso hay árboles que emiten moléculas cuyos núcleos condensan nubes que refrescan la superficie y aumentan la posibilidad de llover.

5.7 REALIMENTACIONES Y RASGOS DE GAIA ORGÁNICA

Lejos de los términos de competitividad y lucha por la vida que jalonan las teorías darwinistas, nuestro autor sintetiza en una serie de afirmaciones las explicaciones anteriores sobre el origen de Gaia como organismo en evolución capaz de superar los límites en las formas materiales de sus recursos con la estrategia de la complejidad y la coordinación. Las ofrecemos para comprenderla de manera más sencilla:

1. Los organismos crecen y llenan los espacios físicos superando los límites energéticos y materiales por complejidad y cooperación.
2. La presión de los condicionantes genera eficiencia, inteligencia, simbiosis y competencia. De nuevo entra en juego el incremento de complejidad, y las leyes de la termodinámica para repartir la energía por las vías más eficientes y complejas. Lo que aumenta el reciclado y el alejamiento de los límites (el carbono y el nitrógeno tienen una tasa de reciclado del 99,5 %, el fósforo del 99,8 % y el agua del 99,9 %).

3. Gaia es un sistema dinámico abierto con flujos de realimentación. Evoluciona con sus partes.
4. La biosfera se complica y emerge Gaia con las mismas propiedades de un organismo autótrofo —distinto al modelo heterótrofo por el que Margulis rechazaba que Gaia fuese un organismo—. Gaia posee complejidad, reciclado interno, homeostasis en temperatura, acidez, salinidad, etc. Los suborganismos, partes de Gaia, trabajan para Gaia, y asumen sus fines de evolución y automantenimiento.⁷⁶

En términos amplios, Gaia adapta el clima, regula la salinidad de los océanos, construye suelos fértiles, mantiene el agua en la tierra, ayuda al vulcanismo para el aprovechamiento de elementos químicos y su capa de ozono regula la entrada de energía solar. Así, genera condiciones de adaptabilidad favorable a la mayor parte de seres vivos, dando lugar a mayor complejidad y eficiencia en el reparto entrópico de energía y materia. Cuando Gaia ha sufrido fenómenos de grandes extinciones recupera los parámetros anteriores con la ocupación por parte de nuevas especies de los nichos ecológicos, esto es, no hay una adaptación al entorno tras la catástrof, sino más bien la emergencia evolutiva de organismos que recuperan y estabilizan los parámetros gaianos, tanto para la vida de Gaia como para ellos mismos. Gaia resistente y resiliente.

5.8 MODELO EXPLICATIVO Y PREDICCIONES DE LA TGO

Ante los fenómenos de la vida, la TGO —como en el ejemplo del desove del salmón— pone la dimensión holística como modelo y base explicativa frente a las interpretaciones de la teoría sintética. Es a esta escala donde hay que acudir para entender las vicisitudes que acontecen en la biosfera. A lo largo de la investigación, se ha visto que el modelo explicativo de la TGO modifica el lenguaje que explora la evolución de los seres vivos. El holismo, la teoría de sistemas disipativos, la emergencia, los propósitos finalistas, la cooperación, la simbiosis y la coordinación han desplazado las explicaciones del paradigma darwiniano. Conviene, pues, no perder de vista el cambio de paradigma que propone la TGO para acercarnos a las hipótesis y predicciones que derivan.

⁷⁶ *Ibid.*, pp., 125-153.

1.- La aparente contradicción entre el interés del individuo/especie y Gaia: la TGO, a través del ejemplo del salmón, considera que tiene que ser posible observar comportamientos que irán en contra del interés egoísta del individuo. La respuesta es que en este problema hay que contemplar los efectos a nivel de ecosistema, redistribución de recursos o a mayor escala, Gaia. Estableciendo la analogía entre la huida de alguien que es perseguido por un atracador y en la carrera se desgarra un músculo; hay que pensar que el músculo —la función— estaba sirviendo al cuerpo —la estructura—, al organismo del que depende y que, finalmente, ha logrado escapar y sobrevivir. De manera similar, interpretamos desde el neodarwinismo que un pez se protege en un banco numeroso de sus congéneres para evitar ser devorado; no obstante, en numerosas ocasiones los depredadores acaban con los bancos. ¿Cómo es posible? De acuerdo con De Castro, si ampliamos la perspectiva a nivel ecológico la TGO permite lanzar la hipótesis de que el banco de peces está manteniendo la vida de los depredadores. El concepto de cadenas tróficas o cadena alimentaria se vincula con esta predicción al evaluar el equilibrio del sistema en la redistribución de los recursos entre el ecosistema. De esta manera, cada especie cumple una función en el equilibrio ecológico.

2.- La selección natural adquiere otro sentido en la medida en que es Gaia la que va seleccionando los seres vivos que permiten su sostenibilidad y evolución. La selección natural no respondería a la lucha por la adaptación, reproducción y supervivencia, sino que dentro de los parámetros de habitabilidad gaianos, se seleccionarían especies en el interior de un margen que favorecería la redistribución eficiente de recursos y energía, y limitaría de alguna manera los procesos neolamarckistas —procedentes de Margulis y McKlinton— por los que las mutaciones no quedan al puro azar, sino bajo las condiciones de Gaia. Ej. la reducción de los rayos cósmicos gracias a la capa de ozono, minimiza las mutaciones, al igual que el descenso de radiactividad desde los orígenes de la Tierra.

3.- La simbiosis o cooperación que interpretamos a simple vista, cabe conjeturar si resulta ser coordinación gaiana. El cuerpo humano está en simbiosis con cantidad de bacterias y microorganismos diversos, no sólo en el intestino, también en la boca o la vagina. La simbiosis ayuda a la salud del holobionte humano. De Castro, explica que la mayor parte de investigaciones con bacterias se han llevado a cabo con aquellas que no son mutualistas y son, que son más fáciles de estudiar, lo cual ha generado un sesgo cognitivo que realimenta la concepción reductivista y competitiva de los organismos. Están empezando a surgir los

estudios sobre microrganismos cooperativos cuyo papel es central en el ciclado de elementos como el carbono y el nitrógeno.⁷⁷

4.- La reproducción sexual desde el punto de vista gaiano contribuye a la dilución de los egos, a la evitación de organismos altamente eficientes y replicantes de sí mismos. En continuidad, la ecología y otras ciencias tienden a romper las individualidades. La reproducción sexual al hacer variar la descendencia —aspecto importante para el la teoría sintética— hace que para Gaia no existan individuos constantemente iguales y exitosos en la supervivencia, de tal manera que no alteren los equilibrios gaianos. Respecto a la reproducción asexual, especialmente, en plantas están comenzando también a aparecer algunos estudios que las analizan desde el punto de vista ecológico y no desde su ventaja o desventaja adaptativa.⁷⁸

5.- Las teorías darwinistas han considerado que la pérdida de funciones por parte de algunas especies procede de la falta de presión ambiental —la pérdida de visión en animales de hábitats oscuros—. Sin embargo, es posible considerar que muchos organismos pierden funciones porque las cubre Gaia u algún otro grupo cooperante. Al reducir fluctuaciones y establecer parámetros —como la salinidad o la acidez— equilibrados, los organismos no tienen que utilizar energía en adaptaciones o tecnología para sobrevivir, por lo que pueden incrementar en complejidad hacia otros caminos de eficiencia.

6.- Se ha propuesto antes que las aguas contribuyen a lubricar el movimiento de la capa tectónica e influye en el vulcanismo del interior de la Tierra. La predicción gaiana es que esa interacción continue y que la geología debería encontrar fenómenos geológicos relacionados con la química y la física del interior terrestre influídos por y para Gaia.

7.- *Daisyworld* y *Butterflyworld*: La primera hipótesis Gaia de Lovelock fue criticada, por una parte, por considerar que su teleologismo necesita un “acuerdo consciente” entre las especies vivas para la homeostasis y la regulación gaiana, y, por otra parte, creer que Gaia no es más que “coevolución”. Para responder Lovelock con Andrew Watson diseñaron un modelo matemático apoyado en la teoría de sistemas dinámicos llamado “Daisyworld” o “el mundo de

⁷⁷ *Ibid.*, p. 159.

⁷⁸ *Ibid.*, p.194.

las margaritas”.⁷⁹ Pretende mostrar que la homeostasis se alcanza sin necesidad de acuerdo consciente de seres vivos.

Daisyworld consiste en un mundo vincula la temperatura del planeta —cuya fuente de energía es un sol en el que, como en los casos reales, su temperatura aumenta a medida que quema hidrógeno y acumula helio que como gas más opaco acumula cada vez más calor— con dos especies de margaritas —negras y blancas— y disponibilidad de agua para su supervivencia. Este modelo representa cómo las margaritas negras generarán sus condiciones favorables de vida cuando la temperatura sea más bien fría, dado que su color les permitirá acumular temperatura —absorbiendo el calor solar—. Este efecto realimenta la temperatura planetaria incrementándola lo que permitirá, a su vez, generar condiciones adecuadas para la extensión de margaritas blancas. Estas comenzarán a expandirse también, y al reflejar el calor por su color blanco —la reflexión del calor por el albedo— contribuirán, de nuevo, mediante realimentación a equilibrar la temperatura planetaria. Ese modelo simple permite argumentar a Lovelock cómo, a pesar del lento, pero progresivo aumento de la luminosidad y temperatura de la emisión solar, la temperatura del mundo de las margaritas —así como otras propiedades gaianas— permanece en equilibrio dentro de unos límites en los que se irá seleccionando aquellas formas de vida que se coordinan, precisamente, con el equilibrio gaiano.

La crítica de De Castro es que en el modelo no hay selección natural entre las margaritas porque no compiten, hay convivencia. Así, el mundo de las margaritas no puede ser una extensión gaiana compatible con el neodarwinismo; de hecho, sin incremento de luminosidad solar no habría variación siquiera en las margaritas. El autor informa que se han propuesto otros modelos del mundo de las margaritas con propiedades darwinistas como la mutación y la adaptación para probar su compatibilidad en la regulación de la temperatura. Los modelos introducen una limitación en la temperatura —por parte del modelador— y así consiguen se cierta homeostasis, pero, en último término, la adaptación darwinista genera desequilibrios en la temperatura.⁸⁰ Concluye que la inclusión de propiedades neodarwinistas en el modelo, lleva a un punto en el que la homeostasis se rompe.⁸¹

⁷⁹ Crf. Lovelock, J., [1988], *Las edades de Gaia. Una biografía de nuestro planeta vivo*, Metatemas 29, Barcelona, 2000. Obra en la que Lovelock se aleja de la hipótesis Gaia orgánica fuerte, para hacia una teoría Gaia débil homeostática.

⁸⁰ De Castro, C., *Op., cit.*, 2020, pp., 201-209.

⁸¹ De Castro explica que junto con otros investigadores trataron de publicar un estudio no publicado en varias revistas sobre este efecto. Sin embargo, unos editores lo rechazaron sin cuestionar el neodarwinismo, mientras que para otros Gaia solo podría ampliar la selección natural darwinista. A raíz de ello, formaron el grupo de investigación GEEDS implicado en la modelización de transiciones energéticas con menos carbono. Un ejemplo sobre cómo la ciencia normal ofrece fuerte resistencia a modelos que la cuestionan.

Butterflyworld o el mundo de las mariposas es un modelo creado por De Castro en el que elimina la inclusión de elementos competitivos darwinistas y de manera similar a Lovelock, introduce, esta vez, una especie de mariposas con dimorfismo sexual: hembras blancas y machos negros, con una mortalidad que depende de la temperatura —no una tasa fija como en el modelo de Lovelock—. En su propuesta que requiere la cooperación sexual surge un equilibrio de temperatura más largo en el tiempo que en el mundo de las margaritas. Entiende que el modelo es sencillo, pero abre una puerta para la exploración de las propiedades a nivel holístico de Gaia sin la pretensión de compatibilizar con el neodarwinismo.

8.- Apoptosis o muerte programada: La vejez, el deterioro celular e incluso la muerte programada o apoptosis se explica con mayor claridad si consideramos que los organismos transfieren parte de sus propósitos a Gaia. Desde el punto de vista del neodarwinismo y/o con la presuposición de que un organismo no haría nada en contra de su interés, es difícil ofrecer un razonamiento convincente sobre cómo es posible que las células se deterioren, envejezcan e incluso organismos unicelulares “se suiciden”. La TGO predice que la apoptosis debe tener algún tipo de programación que permite a Gaia mantener los ciclos de reciclado biogeoquímicos. El ejemplo representativo que recoge De Castro es el del fitoplancton. Aunque se sitúe en la base de las cadenas tróficas de innumerables seres vivos —iniciando el reciclado de su materia—, se estima que más de la mitad del fitoplancton muere respondiendo a funciones gaianas de homeostasis —destacando la producción de oxígeno—.⁸²

6. FRENTE AL COLAPSO GAIA ORGÁNICA

Anunciábamos al comienzo del trabajo que otra de las líneas de investigación de nuestro físico y biólogo son los límites biofísicos del planeta en relación a nuestra forma de vida,⁸³ y que su perspectiva sobre la situación de Gaia es —como la de Riechmann— la de colapsólogo. Estudian cómo transitar el colapso —evitando la extinción humana— y posibles salidas para nuevas culturas humanas integradas en Gaia y potencialmente más sostenibles.

Hay que recordar que el riesgo de colapso es uno de los retos que nos ha llevado hacia la investigación de la TGO. De Castro comparte, también, la necesidad de tomar medidas

⁸² De Castro, C., *Op., cit.*, 2020, pp., 227-230.

⁸³ Cfr. Nota al pie Nº 2.

urgentes como anunciaba la comunidad científica en sus advertencias de 1992 y 197.⁸⁴ Sus investigaciones subrayan la muy presente posibilidad del colapso y las serias dificultades de afrontarlo desde el paradigma mecanicista y reduccionista centrado en tomas de decisiones concretas, carentes de mirada relacional y con poca proyección a largo plazo.

En 2011, De Castro realizó una investigación sobre los límites biofísicos, mediante el desarrollo de modelos dinámicos y la aplicación de la teoría de sistemas abiertos en el que la realimentación negativa entre los distintos parámetros pone, de nuevo, sobre la mesa la necesidad de una transformación imperativa del vivir contemporáneo.⁸⁵ El énfasis termodinámico de entradas y salidas de en los flujos de materia, energía e información entre los distintos sistemas interconectados señala que las medidas cortoplacistas ético-políticas se van a quedar cortas ante la situación que se avecina.

Siguiendo su trabajo, la teoría de sistemas ofrece tres posibilidades ante el crecimiento limitado: 1) la adopción de un modelo de vida en un estado estacionario sin sobrepasar los límites; 2) *overshoot* o sobrepasamiento de los límites, al que sigue un periodo de oscilaciones hasta situarse en nuevos límites; y 3) sobrepasamiento de los límites y colapso. Su hipótesis es que estamos quebrantando los límites biofísicos que permiten continuar con nuestros modelos de vida y que probablemente nos encontremos entre la situación 2) y 3).

Desde la teoría de sistemas abiertos y la visión holística que comparte con la TGO se analizan los siguientes factores biofísicos:

- La crisis energético-económica. Los modelos reflejan la profunda y compleja imbricación entre el petróleo —su demanda, precio y nuevos yacimientos—; la energía procedente de otras fuentes —no renovables, como el carbón o la nuclear y renovables —como la eólica y la solar—; la producción de fertilizantes —que requiere grandes cantidades de energía— y las crisis alimentarias. En líneas generales, estos factores forman una circuitería de sistemas con realimentaciones cuya tendencia es negativa. La cada vez mayor demanda de petróleo por su escasez y los requerimientos de mayor energía para extraer los cada vez menores y pobres yacimientos de petróleo, influyen sobre el precio de la energía que, a su vez, se vincula con otras fuentes energéticas. De acuerdo con el autor, no sería posible mantener el crecimiento actual, sustituyendo el petróleo por energía nuclear porque, por un lado, requeriría de unas 3000 centrales

⁸⁴ Crf. “1.1 El diagnóstico de colapso.” Indicábamos allí un artículo reciente en el que De Castro compara ambas advertencias.

⁸⁵ De Castro, C., “Límites biofísicos: ¿el colapso de la civilización es ya inevitable?”, en: <https://cursolimitescrecimiento.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/texto-1c3admites-biofc3adsicos-ccc.pdf> (visitado: 03/09/2024).

nucleares, se encarecería el uranio que se necesita en su producción y sería un grave problema la contaminación de su material radiactivo. Por otro lado, la energía eólica es muy limitada y la solar requeriría de más de 300 millones de hectáreas. Su propuesta es la reducción del consumo energético mundial, especialmente en los países más ricos para dejar cierto crecimiento a los más pobres guiados por los principios de equidad, fraternidad y solidaridad.

- Cambio climático: Tras evaluar los informes y modelos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) de 2007, indica que tienden hacia el optimismo. Sin embargo, sabemos que 4 o 5 grados centígrados en el incremento de temperatura global sería tremendo para la naturaleza y los seres humanos.⁸⁶ De Castro, añade dos ejemplos o factores que cuestionan al IPCC. Por un lado, el deshielo del polo norte supone a la vez una realimentación negativa, que implica un aumento mayor de la temperatura. Al reducirse la capa de hielo blanca, se reduce la capacidad de reflexión —albedo— del calor y la luz solar. Así, la reducción de hielo por el incremento de temperatura, realimenta el incremento de temperatura. Al mismo tiempo, se produce una aceleración en la subida del nivel del mar.
- Recursos naturales: agua, suelo y minerales. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) de 2006 exponía la necesidad urgente de tomar acciones frente a la escasez de agua. Estimaba que podría ser grave para el 60 % de la humanidad hacia 2050. Respecto al suelo y las tierras resultará muy complejo equilibrar sus usos, puesto que sobre el suelo se produce la degradación de tierras, la producción para alimentación, a urbanización, la instalación de estructuras de fuentes energéticas renovables, sin olvidar la necesidad de proteger la biodiversidad y evitar la deforestación en masa. El desequilibrio entre la demanda y la oferta de suelo disponible, implica un factor de realimentación negativo que se aúna a las crisis anteriores.
- Pérdida de biodiversidad: Para nuestro autor, puede ser uno de los problemas más graves a los que nos enfrentamos. Los ecosistemas dan servicios insustituibles: son fuente de goce estético por su belleza, su homeostasis se encarga de realizar tareas de carácter gaiano, esto es, que facilitan la diversidad de vida; reciclan el aire, el suelo y las aguas; protegen de extremos climáticos, regeneran suelos, controlan inundaciones y sequías, etc. La sexta extinción que estamos llevando a cabo en el planeta y su pérdida

⁸⁶ Crf. Nota al pie Nº 15. Recordemos que los protocolos de Kioto firmados por la ONU limitan el aumento de temperatura a 2º para evitar llegar a problemas irreversibles.

presenta una pérdida irreversible que se suma como una nueva realimentación negativa hacia el colapso en que nos adentramos.

Asumir las realimentaciones y los vínculos que se dan en las esferas biofísicas y lo extremadamente sensibles que son a nuestra acción, no es tarea fácil. Implica, como viene diciendo el autor, un profundo cambio de paradigma. Es más, en ocasiones, De Castro expresa la analogía que habría entre un cáncer⁸⁷ en el cuerpo humano, y la forma de vida capitalista, patriarcal y colonial como cáncer gaiano, cuya denuncia se expresa con mayor indignación en sus aportaciones para unas bases éticas y estéticas sostenidas en la cosmovisión de Gaia orgánica.⁸⁸

La clave que propone De Castro es que Gaia puede mantenerse como fundamento ontológico frente al mecanicismo y sus prácticas que, a pesar de todo, han puesto el equilibrio gaiano en riesgo. Dicho de otra manera, el holismo gaiano, los conceptos de cooperación, simbiosis y coordinación, la integración de los sistemas vivos en unidades cada vez mayores en complejidad, la transferencia de propósito hacia las estructuras mayores, las realimentaciones de materia, energía e información provenientes de la termodinámica de Prigogine, etc., rompen con la cosmovisión moderna⁸⁹ —como insistía en sus obras ya tratadas—. De Castro se opone a los mitos antropocéntricos y tecnófilos⁹⁰ que, a pesar de reconocer cierto holismo gaiano, no renuncian a la posición humana privilegiada y se mantienen firmes en la fe de que la tecnología será capaz de solventar los problemas. Dos de estas posiciones son representadas, precisamente, por los impulsores de la hipótesis Gaia: Lovelock y Margulis. Nuestro autor se opone a la posición pronuclear y defensora de la Inteligencia Artificial de Lovelock, y a la idea de Margulis y Dorion Sagan de que la pérdida de diversidad podría ser compensada por la diversidad tecnológica.⁹¹ Estos autores situados en una visión de Gaia débil no dan el salto a verla como un organismo y reconocer con suficiente radicalidad las transformaciones éticas, políticas y culturales que se desprenderían; y que se requieren para frenar la tendencia acelerada hacia el colapso.

⁸⁷ De Castro, C., en Albelda, J., Arribas-Herguedas, F., Madorrán, C., (Eds.), “Ciencia gaiana para tiempos de colapso y transición”, *Humanidades ecológicas: hacia un humanismo biosférico*, Tirant humanidades, Valencia, 2023, p., 90.

⁸⁸ De Castro, C., “Gaia como base racional, estética y moral del ser humano”, *Estudios Filosóficos LXXIII*, pp., 49-62, 2024.

⁸⁹ Riechmann mantenía, también, la necesidad de asumir el marco gaiano en el diálogo con Arenas.

⁹⁰ Riechmann comparte con De Castro la crítica a las posturas tecnófilas. Riechmann, J., *Ecologismo: pasado y presente (con un par de ideas sobre el futuro)*, La catarata, 2024.

⁹¹ De Castro, *Op., cit.*, 2023, pp., 88-90.

7. IDEAS ÉTICAS DE LA COSMOVISIÓN GAIA ORGÁNICA

La segunda cuestión que nos aproximaba a la investigación sobre la TGO ha sido la posibilidad de servirnos de fundamento para reconciliar las éticas ecológicas y animales. Aunque previamente habíamos tanteado *a priori* sus posibles aportaciones, tras adentrarnos en la TGO podemos validar nuestras intuiciones.

La profunda integración como holobiontes, como planeta constituido de simbiosis una sobre otra, y la dilución de la noción de organismo al adoptar el punto de vista de la termodinámica para contemplar procesos abiertos de fluctuaciones con cierta ralentización en el intercambio energético por parte de las estructuras —ahora sí, de carácter orgánico o ecosistémico— promueven distintas formas de comprensión sobre la biosfera. Además, los procesos de reciclado de elementos físico-químicos coordinados por la autorregulación de Gaia ofrecen la imagen de que cada parte cuenta; cada especie, cada, individuo y cada elemento inorgánico que atraviesa las formas de vida constituyen el cuerpo vivo de Gaia.

Tal es así que se podría explorar, al menos, una vía para la elaboración criterios morales. Por un lado, se podría defender moralmente la dimensión individual de todas y cada una de las partes para el funcionamiento gaiano, incluidas las partes orgánicas e inorgánicas.

Nos resulta imperativo, por ejemplo, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para evitar el incremento de temperatura —por las razones arriba expuestas—, e incluso ser conscientes, de la importancia de las corrientes marinas para favorecer la tectónica de placas de las que emergen recursos químicos. Puede parecer familiar plantear un criterio biocéntrico, sin embargo, las implicaciones de las bases de la termodinámica y del ciclado, fundamentales en la TGO, permiten dar un paso más e incluir lo inorgánico en el círculo moral, aunque sea de manera utilitarista para los seres vivos. Pues, a modo de ejemplo, aunque pudiéramos apagar los volcanes o frenar la tectónica de placas que emiten gases y provocan terremotos perjudiciales para muchas vidas, lo cierto es que son necesarios para el buen funcionamiento de Gaia.

Dicho de otra manera, el criterio moral no puede, por tanto, limitarse a lo vivo cuando hay realimentación continua entre lo orgánico y lo inorgánico. Gaia muestra la importancia de los elementos inorgánicos que se intercambian y reciclan. La eficacia del ciclado es clave para el cuerpo gaiano y para poder llevarlo a cabo, sus partes —seres vivos y ecosistemas— deben coordinarse y colaborar. Pensemos en el desove del salmón y su muerte como fertilizante del bosque, o el papel de las plantas y del fitoplancton en el intercambio gaseoso de dióxido de carbono y oxígeno—.

Ahora bien, ¿cuál es la respuesta a la pregunta por el buen vivir en y con Gaia? Se podría argüir que aceptar la TGO nos da el conocimiento de la complejidad de la vida y la no vida, entrelazando física, química, biología, ecología, etc. La misma Gaia, para su ciclado, requiere la fluctuación de materia, energía y recursos. No es que Gaia nos prohíba hacer circular los recursos, sino que nos invita a hacerlo con conciencia de que formamos parte de un todo vivo e integrado en el que nuestras acciones tienen repercusiones en múltiples niveles hasta afectar a la biosfera que genera las condiciones favorables para la vida. Gaia permite que comamos otras células porque, como los glóbulos blancos, nos alimentamos de otras, siempre y cuando lo hagamos de manera funcional para nosotros/as y Gaia. Ella necesita que vivamos y la vida necesita de las condiciones que establece Gaia. Es más, incluso, la apoptosis, la muerte programada es importante para la salud de Gaia. Así selecciona y evita organismos que podrían alterar en demasía su equilibrio.⁹²

De Castro extrae implicaciones ético-políticas de la TGO que llevan a profundizar en el cambio de cosmovisión. En el paradigma occidental presente subyacen tres mitos⁹³ que lo realimentan e impiden dar un “salto cualitativo” y aceptar la radicalidad de la TGO y sus consecuencias. Por un lado, al antropocentrismo individualista que alimenta un *homo narcissus* consumista y competitivo; por otro, un *homo dichotomos* cuyos conceptos son pares jerarquizados (hombre/mujer, razón/emoción, raza blanca/negra...), y, finalmente un *homo technologicus* que cree que el progreso tecnológico, el crecimiento económico, el transhumanismo, la inteligencia artificial, etc., supondrán una salida a las crisis y al colapso. Los tres mitos o perspectivas del ser humano las adscribe bajo la noción de *homo transgresor* en tanto que nuestra cultura tiende a romper, aislar y dominar de las condiciones biofísicas que la rodea y de las que depende, que, asimismo, mantienen una realimentación positiva con el colonialismo, el capitalismo, el Estado, el machismo, etc.

La perspectiva holista y dinámica dan una visión de conjunto que obliga a reconfigurar por entero la cosmovisión occidental.⁹⁴ La cosmovisión de Gaia orgánica como nueva ciencia normal podría orientarse en el desarrollo del *homo gaiano*. Esta idea aúna la realimentación entre un *homo humilitas esteta* con una visión gaiáfila o biófila que desplaza al ser humano de

⁹² Por su complejidad no podemos plantearnos aquí la reflexión sobre cómo Gaia ha podido seleccionar una especie como la nuestra que la está poniendo en peligro. Aunque, ciertamente, como observa el autor en alguna ocasión, Gaia es resiliente y se sobrepone a las grandes catástrofes. Que el ser humano llegase a desaparecer por colapso, guerras y otras catástrofes, supondría para Gaia una oscilación de la que se recuperaría con el tiempo. El autor señala que tras las grandes extinciones Gaia se ha repuesto, y alcanzados parámetros biofísicos similares al estado anterior y equilibrados de nuevo para su cuerpo y el de las partes vivas que la componen.

⁹³ Como relatos que alientan la cosmovisión y se sustentan su ética, estética, religión, etc.

⁹⁴ De Castro, C., “Gaia como base racional, estética y moral del ser humano”, *Op., cit.*, 2024.

sí mismo y lo saca del *homo narcissus* individualista; una figura de *homo sapiens* integrado en Gaia como parte funcional —siendo Gaia la estructura— que rompe la imagen independiente del hombre *versus* naturaleza u *homo versus* Gaia, esto es, *el homo dicotomicus*; y un *homo teleologicus* que entiende la sagrada bondad de Gaia y se apoya en nociones como la solidaridad, el crecimiento filosófico, hacia un proyecto que comprensión de Gaia con su belleza e inspiración empática para equilibrarnos con biofilia hacia ella y el fomento de una nueva cosmovisión cultural gaiana.

Las nociones de la ética que considera su relación con la biosfera o Gaia se acercan a la *deep ecology* y al ecofeminismo. Abogan por una comprometida transformación en las esferas de la economía, la sociedad y la tecnología, la política, etc., no se conforma con ideas de carácter reformista como el capitalismo verde, la economía circular —que pretende crecimiento infinito— y el *green new deal*. De nuevo, frente al mito tecnófilo es necesario entender que nuestra tecnología es incapaz de acercarse a los niveles de reciclado y coordinación de Gaia o cualquier organismo, es el planteamiento que se muestra bajo lo que De Castro denomina “Principio de humildad antropológica”. Esta apuesta es una nueva sincronía con la postura Riechmann de la ecología consecuente, frente a la superficial.⁹⁵

Algunas ideas de carácter más concreto para explorar la “civilización gaianizada” pasan por: la reducción del uso energético, la adaptación a los ecosistemas y sus flujos con la mínima intervención humana, el reparto, la reducción, reparación y reciclado de recursos y materia —dada su finitud—, la adaptación a los flujos gaianos, la búsqueda de armonía entre tecnología y adaptación, la diversidad cultural, la fraternidad y la cooperación e interdependencia entre las partes funcionales que componemos Gaia.⁹⁶

CONCLUSIONES

A modo de síntesis, podemos decir que la raíces que nutren las explicaciones de la TGO son las siguientes: 1) comprender a Gaia como organismo cuyos fines son la autorregulación y la eficiencia en la distribución de energía, materia e información —el ciclado de recursos/desechos— entre sus partes-organismos; 2) la continua evolución de Gaia en homeostasis, cuyos parámetros generan las condiciones de habitabilidad para la evolución de los seres vivos y de sí misma, requiere altas tasas de reciclado; 3) los procesos evolutivos han

⁹⁵ Riechmann, J., *Op., cit.*, 2024.

⁹⁶ De Castro, C., “De la resalvajización a la reintegración en Gaia”, XXXX

tenido un crecimiento cualitativo en la superación de los límites que frenaban la extensión y adaptación de los individuos, siguiendo la tendencia a la complejidad y empujados por la simbiogénesis y la cooperación; 4) la coordinación de partes —organismos y ecosistemas— ha acompañado al salto cualitativo en la aparición de especies para aprovechar los recursos/desechos, incrementando la distribución de energía y su ciclado.

La proximidad del colapso obliga al abandono del mecanicismo y empuja un nuevo giro copernicano iniciado por la TGO y la adopción de su cosmovisión. Siendo conscientes de la realimentación entre ciencia, filosofía, cultura, estética, religión, etc., la base científica de la TGO sirve como punto de anclaje para extender un nuevo lenguaje que abandone la competitividad, la lucha por la existencia, el individualismo, etc., que realimentaban las teorías de la evolución del siglo XIX hasta el neodarwinismo. Aquí es donde hay que empezar a tantejar la civilización gaianizada, con una perspectiva holista, consciente y responsable con lugar en el que habita y le permite vivir —la biosfera o Gaia—. La nueva cultura tendrá en cuenta la interdependencia de los flujos entre energía y materia de todos sus habitantes vivos. Así, la coordinación, el reparto, la distribución, la complejidad, la organicidad, la simbiosis, el holobionte, etc., dan el salto desde la teoría científica a la cosmovisión que se propone generar una civilización inspirada ética y estéticamente en el interior de aquella antigua diosa, Gea.

REFERENCIAS

- Andreo, P., García, N., y Sánchez, E., “La microbiota intestinal y su relación con las enfermedades mentales a través del eje microbiota-intestino-cerebro,” *Discapacidad Clínica Neurociencias, Vol. 4, Nº 2*, 2017.
- “Bárbara McClintock”, *Wikipedia*, en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Barbara_McClintock, (visitado: 12/08/2024).
- de Castro, C., McShea, D. W., “Applying the Prigogine view of dissipative systems to the major transitions in evolution”, *Paleobiology*, Cambridge University Press, 2022, en: <https://lanzarotebiosfera.org/wp-content/uploads/2023/01/Paleobiology-a-publication-of-the-Paleontological-Society.pdf>, (visitado: 03/09/2024).
- de Castro, C., en Albelda, J., Arribas-Herguedas, F., Madorrán, C., (Eds.), “Ciencia gaiana para tiempos de colapso y transición”, *Humanidades ecológicas: hacia un humanismo biosférico*, Tirant humanidades, Valencia, 2023.
- de Castro, C., “En defensa de una teoría Gaia orgánica”, *Ecosistemas*, N.º 22, 2013.
- de Castro, C., y McShea, D. W., entrevista Del Buey, R., “¿Cómo reaccionar ante un nuevo cambio en cosmología? Una entrevista con Daniel W. McShea y Carlos de Castro”, *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, Nº 158, 2022, en:
<https://www.fuhem.es/2023/07/19/entrevista-con-daniel-w-mcshea-y-carlos-de-castro/>, (visitado: 03/09/2024).
- de Castro, C., [2008], *El origen de Gaia. Una teoría holista de la evolución*, Libros en acción, Madrid, 2020.
- de Castro, C., “Gaia como base racional, estética y moral del ser humano”, *Estudios Filosóficos LXXIII*, 2024.

- de Castro, C., “La ‘Advertencia a la humanidad’ de los científicos, 25 años después”, *15\15\15. Revista para una nueva civilización*, 1/05/2018, en: <https://www.15-15-15.org/webzine/2018/01/05/la-advertencia-a-la-humanidad-de-los-cientificos-25-anos-despues/>, (visitado: 07/007/2024).
- de Castro, C., “Límites biofísicos: ¿el colapso de la civilización es ya inevitable?”, en: <https://cursolimitescrecimiento.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/texto-lc3admites-biofc3adsicos-ccc.pdf> (visitado: 03/09/2024).
- de Castro, C., [2019], *Reencontrando a Gaia. A hombros de James Lovelock y Lynn Margulis*, Ediciones del Genal, Málaga, 2019
- de Castro, C., “De la resalvajización a la reintegración en Gaia”, Moyano, C., (Ed.), *Puentes salvajes: Una filosofía integradora para renaturalizar el antropoceno*, Plaza y Valdés, 2024.
- “Etimología de ‘adaptar’”, *Diccionario etimológico de Chile*, en: <https://etimologias.dechile.net/?adaptar>, (visitado: 15/08/2024).
- Faria, C., “Réquiem por un mito. Desmontando la compatibilidad entre la ética animal y la ética ambiental”, *Analéctica*, Vol. 8. Núm. 50, 2022, en: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/251/2512852005/>, (visitado: 08/08/2024).
- Hesíodo, “Teogonía”, *Obras y fragmentos*, Madrid, 1978, p. 76, Edición digital, en: <https://archive.org/details/hesiodo-obras-y-fragmentos/page/n3/mode/2up>, (visitado: 07/07/2024).
- Kristin, A., et. al. *The New York Declaration on Animal Consciousness*, en: <https://sites.google.com/nyu.edu/nydeclaration/declaration>, (visitado: 07/08/2024). Versión en castellano en: <https://www.animal-ethics.org/la-declaracion-de-nueva-york-sobre-la-consciencia-animal-pone-el-foco-en-las-implicaciones-eticas-de-la-consciencia-animal/> (visitado: 07/08/2024).

- Organización de Naciones Unidas, *Acuerdo de París*, 2015, en:
https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf, (visitado: 07/07/2024).
- Platón, “Fedro”. *Fedón y Fedro*, 229a- 230c, Alianza, Madrid, 2009.
- Philip, et. Al., *Declaración de Cambridge sobre la conciencia*, 07/07/2012, Universidad de Cambridge, accesible en castellano en: <https://www.animal-ethics.org/declaracion-conciencia-cambridge/>, (visitado: 07/08/2024).
- Riechmann, J., *Ecologismo: pasado y presente (con un par de ideas sobre el futuro)*, La catarata, 2024.
- Riechmann, J., “Decididamente, sí: Gaia forma parte del cosmograma que necesitamos,” *Hábitat y sociedad*, 19, en:
<https://revistascientificas.us.es/index.php/HyS/article/view/24240/21621>, (visitado: 17/08/2024).
- Riechmann, J., *Simbioética. Homo sapiens en el entramado de la vida. Elementos para una ética ecologista y animalista en el seno de una Nueva Cultura de la Tierra gaiana*, Plaza y Valdés, Madrid, 2022.
- Ripple, W., Wolf, Ch., Gaetti, M., et. al., (Trad. Emilio de las Heras), *Advertencia de la comunidad científica mundial a la humanidad*, 2017, en:
<https://redbioetica.com.ar/%EF%BB%BFadvertencia-de-la-comunidad-cientifica/>, (visitado: 07/07/2024).
- Samaniego, J., “En territorio desconocido: superados 6 de los 9 límites planetarios que permiten la vida en la Tierra”., *Climática*, en: <https://climatica.coop/limites-planetarios-cuantificados-los-9/>, (visitado: 0//08/2024). Accesible en inglés en: Rockström, J., et. Al., *Planetary boundaries*, Stockholm Resilience Centre. Stockholm University, en: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>, (visitado: 07/08/2024).

- Sariñena, P., “¿Dónde se vende el melocotón de Calanda? De comercios locales, a supermercados nacionales y países como Suiza”, *La Comarca*, 30/08/2023, en: <https://www.lacomarca.net/donde-se-vende-melocoton-calanda-comercios-locales-supermercados-nacionales-paises-suiza/> (visitado: 07/07/2024).
- UVA. *Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas*, en: <https://geeds.es/project/carlos-de-castro-carranza/>, (visitado: 1/08/2024). Además, imparte docencia en el Máster de Formación Permanente en Humanidades Ecológicas, Sustentabilidad y Transición Ecosocial Interuniversitario de la Universidad Autónoma de Madrid y la Universidad Politécnica de Valencia.