



UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
TESIS DOCTORAL

La construcción del relato.
Un estudio teórico sobre el cambio climático y la crisis de
biodiversidad

D. Brian Herreño Jiménez
2023



UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

La construcción del relato
Un estudio teórico sobre el cambio climático y la crisis de
biodiversidad

Autor: D. Brian Herreño Jiménez

Director/es: Dr. José Antonio Palazón Ferrando

y

Dr. Joaquín Hernández Bastida

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD
DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022

D./Dña. Brian Herreño Jiménez
doctorando del Programa de Doctorado en

Biodiversidad y Gestión Ambiental

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

La construcción del relato .Un estudio teórico sobre el cambio climático y la crisis de biodiversidad

y dirigida por,

D./Dña. Joaquín Hernández Bastinda

D./Dña. José Antonio Palazón Ferrando

D./Dña. María José Inieta Delgado

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:

- *La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- *En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 21 de septiembre de 20 23

Fdo.: Brian Herreño Jiménez

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados	
Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad

Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia

A Elvira, mi madre, sin su apoyo y su esfuerzo esta memoria no hubiera sido posible.

«Las cosas, también ellas, tienen derecho a la dignidad de ser relatos».

—Bruno Latour, 1991

Contenidos

Agradecimientos	vi
Prefacio	1
1 Paradigma, dadaísmo epistemológico y programas de investigación	8
1.1 Reconstrucción de la Epistemología en la segunda mitad del siglo XX	8
1.2 Crisis, anomalías y revolución en Biodiversidad y Gestión Ambiental	16
2 Bibliometría: un método para monitorizar el estado de un paradigma	20
2.1 Bibliometría revoluciones científicas y Dadaísmo	21
2.2 El método	23
3 Biosfera, el término que lo agrupa todo	29
3.1 La conceptualización de la biosfera	30
3.2 La biosfera: entre la Tierra y el Cosmos	31
3.2.1 Exergía	33
3.2.2 Entropía	36
3.3 ¿Qué fue antes el agua o la vida? La importancia de los ciclos biogeoquímicos en la organización de la biosfera	38
3.4 Las generalizaciones empíricas de Vernadsky respecto a la biosfera	41
3.5 Resultados análisis bibliométrico (Vernadsky y la biosfera) . . .	42
3.6 <i>Daisyworld</i> : Abordando el problema desde la modelización . . .	43
4 Integración de la edafosfera en la biosfera	47
4.1 Introducción	47
4.2 Reconstrucción histórica	49
4.2.1 El error histórico de la academia estadounidense: De Merrill a USDA	51
4.2.2 La historia al otro lado del telón de acero	53
4.3 Dokutchaev y su escuela en el siglo XXI	57
4.3.1 Resultados análisis bibliométrico	58
4.3.2 Un ejemplo de perfil del suelo	58

5	La noosfera, más allá de la biosfera	62
5.1	Lo social y lo natural	62
5.2	Los límites del pensamiento	68
5.3	El mito del crecimiento infinito y el decrecimiento como respuesta sensata	70
6	Teoría Simbiogenética: entender la evolución y la biodiversidad a través de la Ecología	80
6.1	El origen de la vida como cuestión científica	81
6.2	La falacia del gradualismo: El equilibrio puntuado (EP) desacreditó al Neodarwinismo	84
6.3	Neodarwinistas justificando lo injustificable	89
6.4	Un fantasma recorre la Ciencia: El dogmatismo	91
6.5	Postulados simbiogenéticos	94
7	El reino <i>Fungi</i> clave para entender la evolución	97
8	Más allá del relato	105
8.1	Estructura del capítulo	106
8.2	Términos presentes en todas las búsquedas en <i>Scopus</i>	107
8.3	Análisis de la propia bibliografía (meta-análisis)	109
8.3.1	La cocina de los datos: <code>biblioMXL2DF</code> y <code>absDummy</code> (preparación de los datos)	109
8.3.2	Análisis de correspondencias múltiples (ACM) y agrupamiento por k -medias	113
9	Conclusión	119
	Referencias	127

Relación de figuras

2.1	Ejemplificación de los posibles estados de un paradigma en función de las publicaciones a lo largo del tiempo. Esta información es indicativa, pero nunca determinante debido a la historia externa.	24
2.2	ciclo de la metodología empleada.	25
3.1	Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre Vernadsky (Vernadsky) y biosfera (biosphere) almacenados en Scopus. . .	43
3.2	Publicaciones por año sobre Vernadsky (Vernadsky) y biosfera (biosphere) almacenadas en Scopus.	44
3.3	Publicaciones por año sobre Mundo de Margaritas (daisyworld) almacenadas en Scopus.	45
3.4	Coocurrencias de términos en las Publicaciones sobre Mundo de las Margaritas (daisyworld) almacenados en Scopus.	46
4.1	Publicaciones por año sobre Dokutchaeв (Dokuchaev) y suelo (soil) almacenadas en Scopus.	57
4.2	Coocurrencias de términos en las Publicaciones sobre Dokutchaeв (Dokuchaev) y suelo (soil) almacenados en Scopus.	59
4.3	Horizontes edáficos generales en la edafosfera.	60
5.1	Publicaciones por año sobre capital (capital) y natural (natural) almacenadas en Scopus.	64
5.2	Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre capital (capital) y natural (natural) almacenados en Scopus.	65
5.3	Publicaciones por año sobre sobre sustentabilidad (sustainability), clima (climate) y justicia (justice) almacenadas en Scopus. .	70
5.4	Coocurrencias de términos en las Publicaciones sobre sustentabilidad (sustainability), clima (climate) y justicia (justice) almacenados en Scopus.	71
5.5	Publicaciones por año sobre crecimiento (growth) sustentable (sustainable) almacenadas en Scopus.	75
5.6	Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre crecimiento (growth) sustentable (sustainable) almacenados en Scopus. . .	76

5.7	Publicaciones por año sobre decrecimiento (degrowth) almacenadas en Scopus.	77
5.8	Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre decrecimiento (degrowth) almacenados en Scopus.	78
6.1	Filogénea macro-evolutiva de acuerdo con la simbiogénesis (Margulis 1998)	85
6.2	Publicaciones por año sobre el equilibrio (equilibrium) puntuado (punctuated) almacenadas en Scopus.	87
6.3	Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre el equilibrio (equilibrium) puntuado (punctuated) almacenados en Scopus.	88
6.4	Ejemplo de meme que juega con el propio concepto y su creador R. Dawkins.	94
6.5	Publicaciones por año sobre simbiogénesis (symbiogenesis) almacenadas en Scopus.	95
6.6	Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre simbiogénesis (symbiogenesis) almacenados en Scopus.	96
7.1	Representación de la célula como una fábrica donde el ADN es el director.	99
7.2	Número publicaciones que contienen el término holobiont	101
7.3	Número publicaciones que contienen el término hologenome	101
7.4	Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre el concepto de holobionte (holobiont).	102
7.5	Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre el concepto de hologenoma (hologenome).	103
8.1	Número de grupos óptimo obtenido mediante el análisis de silueta.	113
8.2	Grupos obtenidos con k -medias con semilla = 37.	115
8.3	Grupos obtenidos con k -medias con semilla = 4437.	116
8.4	Dendrogramas obtenidos a partir de los centroides de los grupos obtenidos con distinta aleatorización de k -medias, con las coordenadas de los 6 primeros dimensiones del ACM, recurriendo al criterio de agregación de Ward.	118
9.1	Meme de la relación entre los términos sonstenible , mercado y economía	121
9.2	Meme que refleja el proceso de interpretación y reconstrucción racional a partir de los resultados.	123
9.3	Meme que juega con la imagen de Huguet del Vilar y los resultados del meta-análisis.	125

Relación de tablas

3.1	Composición fisicoquímica atmosférica de la Tierra, Marte, Venus y una hipotética Tierra sin vida descrita por Lovelock.	35
7.1	Representación heterotalismo tetrapolar.	98
8.1	Relación de palabras clave que aparecen en todos los análisis bibliométricos realizados.	108
8.2	Ejemplo de términos elegidos por el investigador.	111
8.3	Términos con más de 6 observaciones.	113
8.4	Autovalores e inercia asociados a las primeras 6 dimensiones de MCA.	113
8.5	Grupos de términos obtenidos con ACM y k -medias.	117

Agradecimientos

Como redactar unos agradecimientos sin parecer un político en campaña es casi más difícil que defender las ideas propias ante un tribunal. Una tesis doctoral no es solo un periodo de unos pocos años, es el culmen de una vida de estudiante, son tantos los profesores, maestros y amigos sin los que nunca hubiera podido cultivarme como persona que daría para escribir unas memorias.

Ahora bien, esta memoria arranca en un despacho del Área de Edafología en la Universidad de Murcia, en donde Joaquín Hernández Bastida a través de su infinita paciencia y sabiduría acepto el reto de hacer de mi una persona un poco menos necia y me acogió como su alumno de doctorado.

Aquel primer año fue apasionante y difícil, Joaquín estaba apunto de jubilarse, no teníamos becas ni presupuestos, pero tampoco los queríamos. Lo importante era reflexionar sobre el estado actual de la Academia y el medio ambiente, dar un sentido a ambas crisis que se daban simultáneamente en nuestras vidas y el suelo fue el vehículo que nos permitió ponernos en marcha. He de reconocer que yo tenía la parte más fácil, estudiar y confiar en la sensatez y buena guía que ha supuesto Joaquín durante estos años.

Una cosa fue que no tuviéramos dinero ni para un muestreo, pero ahí estaba Jose Matías Peñas, el otro miembro de este grupo herético que no figuró en ningún documento oficial pero que durante un año discutimos encarecidamente de política ambiental y universitaria. Jose Matías me enseñó que ninguna institución por muy respetable que quiera presentarse al público es dueña de la verdad, pero sobre todo que una institución que cuenta con poder de intervención en la sociedad como es la Academia ha de defender a los ciudadanos por encima de los miedos e intereses propios.

Joaquín tras una larga vida académica educando a generaciones de murcianos se jubiló y hubo que encontrar otro director Jose António Palazón (Palax) y otra tutora María José Delgado Iniesta. Aquí terminó mi presencialidad en la Universidad de Murcia y comenzó un periodo de trabajar a distancia, desligando

la labor científica del laboratorio y el espacio físico para llevar La construcción del relato directamente a la dialéctica y la Biblioteca de Alejandría llamada Internet.

Esta reinención del espacio de estudio doctoral no hubiera sido posible sin el trabajo de María José que durante este tiempo me ha parapetado y protegido de las infinitas trabas burocráticas que impone la academia. He de reconocer también que en este aspecto, siempre he rechazado toda actividad burocrática de la academia lo que sumado a mi rebeldía me hubiera traído serios problemas si no llega a ser por la amabilidad y buen hacer de María José.

¡Palax! Ese quijotesco profesor de los que ya prácticamente no quedan. Nuestro primer contacto fue durante el año de máster durante el cual R unió nuestros caminos académicos, pero no fue hasta que Joaquín nos puso en contacto para la dirección de esta memoria que nuestro pensamiento en torno a las ciencias Biológicas y Ambientales no encontró un espacio dialéctico.

No es solo la dirección de la tesis por lo que estoy agradecido a Palax siendo sincero es casi lo de menos. Cuando me refiero a quijotesco, hablo de un profesor que lleva luchando décadas contra el analfabetismo digital (y general), y que ha hecho todo lo que estaba en su mano para “desasnarme”; espero que haya sido suficiente. Además ha sido un placer compartir con él su final de etapa como profesor titular y le deseo lo mejor en su nuevo camino que aunque sigue siendo el de la docencia podrá transmitir y enseñar su conocimiento y sabiduría más libremente.

También agradecer al Daedalus lab y en concreto a su director y amigo Cristóbal Pagán Canovas, que cuando empezaba mi camino me ofreció la oportunidad, y me la sigue brindando, de participar de la comunidad académica. Nunca imagine que el camino me llevará a trabajar con humanistas, pero todo lo que he aprendido de ellos, espero que se pueda ver reflejado en el relato que es esta memoria.

Por último, gracias al tribunal por su tiempo y dedicación, espero que esta memoria sea de su agrado y que pueda ayudar en la elaboración del marco teórico de los estudios en Biodiversidad y Gestión Ambiental.

Prefacio

¿Es posible imaginar más allá de los límites del capitalismo? «Es más fácil imaginar un fin al mundo que un fin al capitalismo» (Fisher 2016 p. 22). Esta frase atribuida tanto al filósofo esloveno Slavoj Žižek como al estadounidense Fredric Jameson nos recuerda una amarga verdad que como científicos no debemos olvidar: el cambio climático y nuestra responsabilidad en el mismo, no son ajenos a nuestra propia cultura y sociedad.

¿Qué es la Ciencia? Desde niños hemos crecido en un mundo donde la humanidad resolvía todos los problemas mediante la Ciencia, si existía un problema la ciencia con suficiente inversión de capital lo resolvería como si de magia se tratase. Una vez inscritos en nuestras disciplinas olvidamos esa ensoñación que nos llevó a la Ciencia como forma de vida; el laboratorio, los datos, las publicaciones, y un sin fin de retahílas burocráticas nos hace perder el foco de la propia actividad científica.

Creemos inocentemente que la Ciencia todo lo puede resolver y a la vez convertimos el saber en un cascar nueces como decía Nietzsche. Aumentamos nuestra “productividad”, incrementamos nuestro índice h^1 y pedimos más fondos, porque con más capital encontraremos la cura del cáncer, solucionaremos el hambre en el mundo o detendremos el cambio climático.

Hace unos años José Luis Sampedro relataba que mientras la FAO no consiguió una cantidad de capital necesaria para corregir el hambre en el mundo, el sistema financiero fue rescatado en 2008 con unas cifras astronómicas (Sampedro 2011). No hace falta más ciencia, ni más inversión en investigación para lograr el sueño plasmado en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 (ODS): «Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible» (Gómez-Gil 2018).

Aún así, carteles y mensajes destinados a este propósito pueblan universidades de toda España, y los científicos prefieren retorcer la realidad antes que asumir que

¹El índice h es una herramienta bibliométrica para cuantificar el impacto de las publicaciones científicas (Hirsch 2005).

su actividad es parte del problema y no la solución. ¡Qué atrevimiento! Decir que los científicos han de cuestionar la sociedad en que viven y cuestionar la propia disciplina que practican; sin duda olvidamos la barbarie del especialismo que con tanto ahínco expresó Ortega y Gasset (Ortega y Gasset 2002). El especialismo llega hasta tal punto, que un científico sería capaz de negar los principios y evidencias más esenciales de su disciplina porque no son acordes con el poder político o económico.

¿Dónde queda la Gestión Ambiental como disciplina científica si queda constreñida por la Economía? Hay que detener el cambio climático, sin embargo las medidas no son rentables económicamente; es absurdo, pero es humano. Por ese motivo fundamental, es necesario poner en suspensión cualquier juicio político-económico sobre el desarrollo humano y la gestión ambiental; sin olvidar que los juicios éticos no pueden quedar en suspensión en ningún momento.

Hemos recogido datos sobre el cambio climático y monitorizado el medio ambiente desde hace décadas, entendemos que estamos desadaptados de la biosfera, pero aún así queremos retorcer el medio natural a nuestros intereses, y a esta construcción artificial de la naturaleza la denominamos servicios ecosistémicos. ¿Y la respuesta? Más inversión en Ciencia, tecno-magia y mito del progreso como creencia infantil que si cerramos los ojos y lo pedimos con fuerza y convicción la Ciencia nos salvará.

Miremos al abismo un momento y planteemos la siguiente hipótesis nula²: El cambio climático NO tiene solución (H_0). Estamos obsesionados con falsar esta afirmación y aceptar la hipótesis alternativa: El cambio climático tiene solución (H_1). Pero por mucho que tengamos fe o trabajemos obsesivamente no podemos saber hoy lo que aprenderemos mañana como bien destacaba Irme Lakatos³, mientras no falsemos H_0 hemos de aceptarla como cierta.

De la imposibilidad de falsar H_0 , hasta la fecha, nace la presente memoria con el objetivo de construir un relato alejado del catastrofismo y del tecno-optimismo como imposibilidad de encontrar una respuesta al cambio climático o que esta

²En la comprobación de hipótesis se propone una afirmación que se denomina hipótesis alternativa (H_1) y su negación (H_0) que se intenta falsar. Pero hay que tener en cuenta que aunque sea la negación de la hipótesis alternativa, H_0 es una afirmación de la realidad (Eg. Hoy NO llueve). Según el falsacionismo el objetivo de un plan de investigación (PIC) es falsar H_0 para aceptar H_1 . No hace falta aclarar el limitado alcance metodológico del falsacionismo simple, pero en el Capítulo 1 se abordará el falsacionismo sofisticado de Lakatos.

³«Ni la prueba de *inconsistencia por parte del lógico*, ni el *veredicto de anomalía por la del científico experimental* pueden anular un programa de investigación de un solo golpe. Solo se puede ser adivino después del evento» (Lakatos et al. 2018 p. 30). Las cursivas son del autor.

vendrá con trabajo y capital suficiente. De hecho, asumo, que la propia disciplina en la que pretendo doctorarme Biodiversidad y Gestión Ambiental no surge por la acumulación de conocimiento científico, como puede ser las ciencias de la computación, sino de la necesidad de falsar H_0 .

Para poder salir de esta “paradoja” tenemos que ser conscientes de nuestra subjetividad ¿Cómo sé que sé?

Por supuesto, la subjetividad y la irracionalidad que nos definen como sujetos son parte de la investigación. No se puede separar la propia idiosincrasia, tanto individual como social, del científico y su actividad. Pretender que la actividad científica, hecha por humanos, es objetiva, es olvidar el método socrático que acompaña a toda actividad racional. La trampa de la objetividad es doble, porque el científico olvida que su visión no es objetiva, sino subjetiva; a la vez que no se permite explorar la parte subjetiva de la actividad científica porque no reconoce su existencia objetiva.

¿Tenemos herramientas para abordar la trampa de la objetividad? Dar luz a esta parte subjetiva mediante una metodología *dadaísta* basada en los trabajos sobre epistemología de Paul Karl Feyerabend es fundamental para abordar el cambio climático, que como vemos empieza a ser indistinguible de la crisis de biodiversidad. ¿Qué conocimiento científico tenemos en torno a esta cuestión? Este asunto se abordará en el Capítulo 1.

Una forma de abordar el problema es asumir que la vida en la tierra es un todo, un sistema interconectado y homeostático; en el que la vida se crea tanto a a sí misma (autopoiesis) como a su medio ambiente, dando como resultado la biosfera. Por tanto, la presente memoria recoge las ideas de Vernadsky sobre la biosfera, la *teoría Gaía* de James Lovelock (Capítulo 3) y la *teoría Simbiogenética* de Lynn Margulis (Capítulo 6) que se basa en los dos autores anteriores para disputar la hegemonía de la teoría sintética de la evolución.

Así el objetivo de esta memoria es transmitir un relato coherente que colabore en la construcción de una narrativa capaz de abordar las diversas disciplinas, y sus problemáticas en Biodiversidad y Gestión Ambiental.

A continuación se presenta un resumen de la memoria pero antes de proceder con el resumen de la obra es necesario destacar respecto a la bibliografía que una parte considerable de la bibliográfica citada se utiliza para discutir las teorías de Vernadsky, Lovelock y Margulis. A lo largo de la memoria se aportarán ejemplos y estudios de como estas teorías permiten descubrir nuevos hechos y abordar anomalías que paradigmas rivales no han conseguido resolver, así como, usar los

mismos experimentos que justifican paradigmas rivales para explicar los propios de estos autores como se verá en el Capítulo 6.

Además, se utilizan herramientas bibliométricas y estadísticas para ayudar en la justificación del relato. Esta información es referente a la popularidad de una teoría (tema, artículo, idea, ...) dentro de la comunidad científica, pero no permite ver si ese paradigma supone una revolución científica o está en lo correcto. Todo esto se abordará en el Capítulo 1 y en el Capítulo 2 donde se introducirán conceptos como paradigma en expansión o regresión, propios de la teoría de Thomas Samuel Kuhn (Kuhn 1971).

La idea para contrastar la calidad de los paradigmas de biosfera, Gaia y Simbiogénesis ha sido la de ver si artículos posteriores a la publicación de dichas teorías son explicables por las mismas. El criterio para la inclusión de estos artículos en la biografía ha sido que fueran experimentales y posteriores al que ha sido el trabajo más reciente de los tres: el de Margulis que llega hasta principios de la década de 2010.

En algunos casos los autores no mencionan específicamente estos paradigmas pero los están demostrando⁴. En otros casos, si se trabaja directamente bajo los paradigmas y se nombra a los autores por tanto es ciencia normal en el desarrollo de un paradigma. Además, por supuesto también se utilizan bibliográfica previa a la publicación de las teorías expuestas, o contraria para enriquecer la discusión⁵.

Para comenzar podemos plantear un objeto de estudio, ¿Qué es la biosfera? ¿Es un objeto de estudio de la Biodiversidad y Gestión Ambiental? Sí, la biosfera es un objeto de estudio de la Biodiversidad y Gestión Ambiental, pero, ¿Cómo podemos definir la biosfera?

En el Capítulo 3 se presentará y discutirá las ideas y definiciones de Vernadsky sobre la biosfera y su constitución (Vernadsky 1998). Además se conectará con la teoría Gaia de Lovelock y se añadirán otros aspectos relevantes en el estudio de la biosfera que permiten conectar diversos campos del conocimiento humano dentro de la biosfera como sucede en el caso de la transmisión de información genética en la biosfera. En el Capítulo 4 se abordará la integración del suelo en la biosfera, y la manera como nos permite definir el conjunto de los suelos como edafosfera. En conjunto ambos capítulos tienen el objetivo de ayudar en

⁴Por ejemplo en la teoría sintética de la evolución se asume que el aislamiento sexual entre dos poblaciones de *Drosophila* es un ejemplo claro de especiación, pero este mismo hecho también puede ser explicado por la variación en la diversidad del microbioma (Guilhot et al. 2019).

⁵No, no hay un apartado de discusión, la discusión se desarrolla a lo largo de toda la memoria en defensa de las tesis que se exponen.

la construcción de un relato sobre el medio natural y los seres vivos que nos permita pensar ambos constituyentes de forma integral y conjunta.

La idea de integrar el medio natural con la vida es esencial para entender el cambio climático, pero además, Vernadsky definió otra esfera fundamental para estudiar el medio natural: la noosfera. Esta esfera somos nosotros mismos y nuestra interacción con el entorno (medio ambiente). El concepto de interacción entre los seres humanos y su medio es conformacional en muchas disciplinas (la genética y el ambiente, el individuo y lo social, ...) y en el caso del cambio climático tiene que ser estudiado tanto o más con rigor humanista que con rigor científico.

Por un lado somos seres vivos que realizan funciones vitales, pero a la vez obtenemos los recursos para el desarrollo de nuestra tecnología y cultura, incluyendo la actividad científica del medio natural; los seres humanos modificamos el propio medio ambiente en el que vivimos mediante nuestra cultura y el medio ambiente en la globalización se ha convertido en el planeta entero. Es decir, actuamos doblemente con el medio ambiente, como parte de la biosfera y como una fuerza propia que interactúa con la biosfera y la geosfera, lo que ha llevado a denominarnos como “fuerza geológica”.

Pero aquí es donde la ciencia no debe “despistarse” y una metodología Dadaísta permite observar la subjetividad en nuestra propia definición como parte de la biosfera y nuestra interacción con el medio ambiente. En el apartado dedicado a la noosfera (del griego *νόος*, *nóos*: ‘inteligencia’ y *σφαῖρα*, ‘sphaira’: esfera, se verá en el Capítulo 5), se hará hincapié en diferentes problemas relacionados con la interacción de la actividad científica con el contexto histórico y social. Es fundamental que todo científico que pretenda estudiar el cambio climático tenga en cuenta esta parte porque es un problema que trasciende el propio medio natural (biosfera) y afecta y es afectado por lo social (noosfera).

Por último, se presentan dos capítulos (6 y 7) dedicados a una de las temáticas fundamentales de la Biología y la Biodiversidad: teoría evolutiva. En estos capítulos se pone en práctica lo tratado en los apartados anteriores para defender y aumentar el cuerpo teórico de la Simbiogénesis, así como, criticar a la teoría Sintética de la Evolución.

Es imperativo la sustitución de una teoría por otra ante la necesidad de un *locus* de control interno, la voluntad; frente a un *locus de control externo*, el azar. La voluntad es un imperativo categórico, es decir, pertenece a la Ética no a la razón, y por ello ha de ser tratado bajo una metodología irracional que no desprecie al sujeto en beneficio de una fuerza “mágica” e incognoscible llamada azar. Esta es una justificación del Capítulo 6 y un intento de hacer honor a la

gallardía de Margulis que establece de base filosófica para la simbiogénesis la *voluntad de poder* de Nietzsche.

Los capítulos del 3 al 7 constituyen el grueso de esta memoria. Estos capítulos describen la biosfera (Capítulo 3); la construcción del concepto de edafosfera para integrar los diferentes sistemas que componen la biosfera y las ciencias que los estudian (Capítulo 4); nuestro propio papel como especie biológica, en especial como especie “pensante” y como pensamos la Naturaleza (Capítulo 5); la evolución de la biosiversidad dentro de la biosfera (Capítulo 6), y como todo lo anterior se puede aplicar en el estudio de la ecología del reino Fungi (Capítulo 7).

Previamente a estos capítulos se plantea y discute la metodología seguida para la elaboración de la memoria. En el Capítulo 1 se trata la epistemología de la segunda mitad del siglo XX y se expone el *dadaísmo epistemológico* seguido en la memoria. En Capítulo 2, por su parte, se expone una metodología para la creación de relatos científicos con el apoyo de la bibliometría.

Previo a la conclusión, se presentan los resultados del análisis bibliométrico con una ampliación de la metodología (Capítulo 8). Suele ser normativo el presentar los resultados después de la metodología, pero en este caso al tratarse de una metodología de bibliometría primero se discuten los temas para después analizar la importancia y estado de las diferentes cuestiones en la comunidad científica. Por último en el Capítulo 9 se presenta la conclusión de la memoria y las tesis alcanzadas tras la elaboración de la misma.

Es muy posible que el lector se pierda en ciertos momentos del relato pues no se da una exposición lineal de hechos racionales, porque dicha reconstrucción por si sola no es suficiente para abordar problemas tan fundamentales como nuestra concepción del medio ambiente y nuestra relación con él mismo y el resto de seres vivos que conforman la biosfera.

A pesar de esta dificultad se podrá apreciar a lo largo de la memoria que los siguientes 4 principios son defendidos y se evita en todo lo posible salvar, sin negar, las incoherencias que los mismos o la elaboración del relato puedan presentar.

1. Buscar la unificación de las ciencias ambientales y de la vida, a través de asumir que los seres vivos crean el medio en el que viven.
2. Las relaciones ecológicas son parte esencial de la variabilidad genética y la biodiversidad.

3. El planeta tierra es finito y cumple las leyes de la termodinámica, siendo el Sol la fuente de energía del sistema Tierra.
4. *Homo sapiens sapiens* se ha convertido por si solo como especie en una fuerza geológica. Es decir, su actividad no afecta solo a la biosfera, sino también a la geosfera.

Permitanme para concluir añadir que de los cuatro principios definidos, el tercero sea el principio más fundamental o por lo menos el que de ser falsado haría todo este trabajo papel mojado. Por ello insto a quién crea oportuno que intente demostrar que la opción de un crecimiento material y de uso de recursos infinito por parte de *Homo sapiens* es posible en un planeta finito.

Añadir finalmente que espero que esta memoria que intenta huir de la obsesión por falsar esa H_0 maldita pueda contribuir modestamente al esfuerzo común para entender mejor nuestro entorno y nuestra relación con el mismo.

1. Paradigma, dadaísmo epistemológico y programas de investigación

1.1 Reconstrucción de la Epistemología en la segunda mitad del siglo XX

La Epistemología es la rama de la filosofía encargada de estudiar el conocimiento científico definiendo los marcos metodológicos en la investigación científica. De manera resumida se puede decir que trata de dar respuesta a la pregunta ¿Qué es Ciencia?

Tradicionalmente las metodologías científicas se han dividido en dos corrientes *empirismo* y *racionalismo*, y actualmente ambas siguen siendo las más empleadas en la elaboración del conocimiento científico, sin embargo con la llegada de la teoría de la *estructura de las revoluciones científicas*, el dadaísmo epistemológico y las nuevas tecnologías la forma en que adquirimos y entendemos el conocimiento científico se ha visto transformada.

Con el objetivo de salvar el racionalismo la investigación científica se basa en la idea de los programas de investigación científica (*PICs*) introducida por Lakatos (Lakatos et al. 2018), pero problemas tales como el cambio climático o la pérdida de biodiversidad no parecen tener solución dentro del paradigma de los PICs, por este motivo es necesario emplear todo el conocimiento epistemológico a nuestro alcance para abordar estos problemas tan acuciantes que han llevado al desarrollo de los programas de doctorado en Biodiversidad y Gestión Ambiental.

Para empezar, no se puede dejar de lado la Epistemología en la investigación científica que independientemente de los datos, ha transformado la visión que tenemos sobre el conocimiento y como se adquiere. Todo trabajo científico actual se basa en el desarrollo de un programa de investigación científica (PIC), pero esto no es “el método” científico, sino una aproximación al conocimiento desde el falsacionismo sofisticado de Lakatos (Lakatos et al. 2018).

La metodologías que utilizan el falsacionismo sofisticado se basan en una heurística positiva que consiste en intentar falsar continuamente el núcleo firme (falsacionismo), pero con una serie de condiciones (sofisticado). Por este motivo los programas de investigación se basan en la necesidad de un núcleo firme, afirmaciones contrastables con la realidad, y un cinturón de hipótesis auxiliares que respaldan esas afirmaciones.

La aproximación dada por Lakatos no es la única visión válida en la ciencia actual, Feyerabend (1986) en su obra *TRATADO CONTRA EL MÉTODO* plantea el estudio del conocimiento desde una perspectiva plural donde diversas teorías inconsistentes entre ellas pueden desarrollarse simultáneamente y este fenómeno recibe el nombre de *pluralismo teórico*.

Estos dos autores han dejado un trabajo prolífico en la Epistemología, pero su trabajo no podría entenderse sin las ideas de Kuhn, que en su obra prima *LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS*, propuso conceptos tan importantes como paradigma o *anomalía*¹ (Kuhn 1971). Kuhn fue el primero en tomar conciencia que la Ciencia no descubre verdades a través de un método, que por el contrario es un sistema de creencias ligado a un momento histórico y cultural.

Definir que es un paradigma es complicado, Kuhn lo definió como el conjunto de prácticas y reglas que agrupan a una comunidad, en concreto una comunidad científica. Pero, el concepto de paradigma ha sido discutido por diversos autores teniendo diferentes interpretaciones. Existen definiciones de paradigma donde paradigma es sinónimo de ejemplo o modelo haciendo incoherente una transición desde un paradigma de modelos a uno de datos, puesto que sería abandonar el propio concepto de paradigma (Göktürk 2005).

Un ejemplo de la complejidad en la definición de paradigma sería el crecimiento de las poblaciones. De acuerdo con Malthus el crecimiento de la población se da de forma geométrica (Malthus 1990), entonces se comprueba esta afirmación con ejemplos de poblaciones reales, asentando un paradigma. Por otro lado, sería posible censar poblaciones sin asunciones previas e intentar encontrar una función que defina el crecimiento de dichas poblaciones, esta segunda aproximación epistemológica sería un paradigma construido a partir de los datos. Es más, podría darse el caso de los datos recogidos pudiera ser explicado por dos funciones diferentes según la interpretación produciéndose una *incommensurabilidad* de paradigmas (Feyerabend 1991 p. 73).

La importancia de los datos en la Ciencia es tan grande que se ha llegado a sugerir que paradigmas tan fundamentales en el desarrollo de metodologías como

¹Hechos o argumentos que no concuerdan con el paradigma.

ha sido la deducción o la modelización pueden cambiar hacia un inductivismo basado en los datos (Manning 2013). La idea de este cambio de paradigma aunque prometedora requiere una mayor comprensión de la irrupción del uso de la computación y los datos masivos en el estudio científico y por supuesto hay que tener en cuenta que la definición de paradigma sea coherente^{2,3}.

Aunque esto sugiere que una disputa entre, si un paradigma es un modelo o, por el contrario si los datos permiten inducir nuevos paradigmas. Posiblemente esta disputa tenga su raíz más en la fama que ha tomado el término paradigma que a un desarrollo del concepto de paradigma de Kuhn. La teoría que propuso Kuhn fue un cambio radical en el entendimiento de la empresa científica, hasta entonces el conocimiento era único y objetivo, siendo la Ciencia la actividad encargada de alcanzar la verdad, pero Kuhn observó que la Historia de la Ciencia no era lineal y mucho menos independiente de los sujetos que la practican.

No se trata de ver si para acceder a la “verdad” del cosmos tenemos que deducir hipótesis a partir de la modelización o por si el contrario tenemos que inferir las hipótesis a partir de la observación, los paradigmas son las verdades y reglas aceptadas por un determinado colectivo:

«Los hombres cuya investigación se basa en paradigmas compartidos están sujetos a las mismas reglas y normas para la práctica científica.» (Kuhn 1971 p. 34)

En LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS se plantea que la Ciencia se desarrolla de forma coherente y lineal durante un cierto periodo de tiempo que Kuhn denominó *Ciencia Normal*, toda la actividad, teorías y metodologías dadas durante este periodo conforman un paradigma que es compartido por la comunidad científica (Kuhn 1971). Ahora bien, la realidad es más vasta que cualquier conjunto de ideas humanas y por ello existen anomalías; cuando estas anomalías son de importancia para la comunidad científica y no pueden ser resueltas por los planteamientos científicos dados se

²La elección de definir un paradigma como un modelo se puede interpretar como parte del cinturón de hipótesis auxiliar de un PIC, el cual se base en métodos deductivistas, en contraposición, existen metodologías basadas en la inducción del conocimiento a partir de los datos; que en última instancia viene a ser racionalismo (modelo) frente a empirismo (datos).

³Actualmente en el Centro de Cognición, Comunicación y Creatividad de Murcia (Daedalus Lab) estamos definiendo una metodología para el estudio del lenguaje multimodal basada en la recogida e interpretación de datos, en vez de plantear los experimentos a partir de la teoría previamente existente. La idea es construir un cuerpo teórico que concuerde con una vasta realidad observada y no encerrar la realidad en categorías previamente establecidas. Esto mismo se puede aplicar al estudio en Biodiversidad y gestión Ambiental.

procede a una revisión sistemática del paradigma vigente lo que supone una revolución científica.

Hay que tener claro que un paradigma siempre presenta anomalías, con lo que la mera existencia de anomalías no justifica el abandono o revisión de un paradigma vigente, pero si la anomalía es insalvable se da el proceso revolucionario, donde se intenta dar respuesta al problema aunque sea a costa de sacrificar las verdades hasta ese momento establecidas.

Un ejemplo de anomalía y revolución científica de vital importancia para el tema que atañe a esta memoria es el cambio climático; no es aceptable un paradigma medio-ambiental que no aborde dicha problemática y por ello la comunidad científica entra en un periodo revolucionario donde teorías alternativas y nuevas metodologías surgidas en diversos campos se postulan para lidiar con el problema.

Al final de un periodo revolucionario otro paradigma, o el vigente si consigue incorporar y resolver la anomalía sin entrar en inconsistencia consigo mismo, será aceptado por la comunidad y se repetirá el proceso de ciencia normal.

A pesar de este ciclo entre revolución (crisis) científica y ciencia normal no se produce ningún progreso científico, entendiéndose el progreso como acumulación de conocimiento, simplemente cambia el sistema de creencias que rige la Ciencia invalidando la reconstrucción racional que Karl Popper pretendía de la Ciencia⁴ (Worrall 2003) .

Ante la imposibilidad de establecer criterios objetivos y universales, se ha de asumir que la Ciencia como actividad humana es subjetiva e irracional. Ante esta afirmación la comunidad científica de la segunda mitad del siglo XX entró en pánico, si la Ciencia no era comparable al progreso de la humanidad la tarea carecía de sentido, al menos para ese determinado momento histórico.

Para poder salvar la idea de progreso y que la Ciencia no entrara en una deriva donde no fuera posible establecer verdades salvo por la propia elección de los sujetos, Lakatos lanzó su intento de establecer un sistema comparativo de la Ciencia, lo que dio lugar al falsacionismo sofisticado (Lakatos et al. 2018).

⁴En referencia a la última respuesta de Popper a Kuhn durante el debate titulado CRITICISM AND THE GROWTH OF KNOWLEDGE: «Y, sin embargo, afirmó que “siempre” había estado de acuerdo con un aspecto de la opinión de Kuhn: que el “dogmatismo” desempeña un papel importante: Creo que la ciencia es esencialmente crítica. ... Pero siempre he subrayado la necesidad de cierto dogmatismo. El científico dogmático [esto seguramente debería ser un oxímoron para Popper] tiene un importante papel que desempeñar. Si cedemos a la crítica con demasiada facilidad, nunca descubriremos dónde reside el verdadero poder de nuestras teorías.»

En el falsacionismo sofisticado lo importante es medir la coherencia interna de un paradigma, si un paradigma explica más y de forma más coherente un fenómeno determinado este ha de ser acogido por la comunidad como el paradigma vigente. Para ello, estableció la diferencia entre “núcleo firme” y “cinturón de hipótesis auxiliares”.

El núcleo firme está formado por todas aquellas afirmaciones que mediante una heurística positiva dan la coherencia interna al paradigma, ahora renombrado como programa de investigación científica (pic). Este núcleo firme ha de ser mantenido y contrastado con la realidad constantemente y si es falsado⁵ el paradigma deja de ser viable. Como se verá, este mismo principio se utilizará más adelante contra la teoría sintética para invalidarlo frente a la simbiogénesis.

En contraposición, el cinturón auxiliar se encarga de defender al núcleo firme de las anomalías, no es solo un conjunto de hipótesis, incluso se podrían emplear hipótesis *ad hoc*⁶, pero el cinturón auxiliar es una construcción más compleja, que incluye teorías de otros campos, experimentos, y cualquier otra justificación aceptada por la comunidad científica o parte de la misma.

El problema de la metodología de los PICs es que desdeña la importancia de la anomalía dando más importancia al positivismo del núcleo firme, pero a veces como sucede en el caso de la crisis de biodiversidad una heurística positiva no es suficiente y es necesario abordar el problema desde un pluralismo teórico. Esto se asume como axiomático en esta memoria.

Como consecuencia de aceptar la afirmación anterior se recurre al dadaísmo epistemológico de Feyerabend poniendo de manifiesto que no hay un método único e infalible planteando la existencia de una pluralidad teórica y metodológica que recupera la idea original de Kuhn de inconmensurabilidad e irracionalidad de la historia de la ciencia.

Los paradigmas se dan simultáneamente, pudiendo ser inconmensurables, pero sobre todo, presentan una parte subjetiva que no puede ser eliminada, lo que

⁵Se podría dar el caso particular que un paradigma que ha sido falsado no tiene paradigmas rivales capaces de sustituirlo, aunque también puede utilizarse la inexistencia como argumento falaz, que como se verá en el Capítulo 6 es caso de algunos neo-darwinistas que ante la caída de su paradigma lo defienden negando la existencia de paradigmas alternativos. Además la no existencia de paradigmas alternativos es un indicio de un alto dogmatismo en una determinada comunidad científica lo que puede significar su deriva hacia la pseudo-ciencia.

⁶Una hipótesis *ad hoc* es una hipótesis que se elabora para un caso concreto. Es el mecanismo más primario y desesperado para evitar la falsación de un núcleo firme. Pero por supuesto el núcleo firme puede ser defendido mediante experimentos que lo avalen hasta mediante el cuerpo teórico de otra disciplina.

imposibilita una reconstrucción racional de la historia de la ciencia mediante un método universal (Feyerabend 1986).

Desde el punto de vista de Lakatos se podría aseverar que lo que se observa es una reconstrucción racional “mejor” que otra (Lakatos et al. 2018), sin llegar nunca a ser racional y universal; pero esto es el problema de querer salvar la racionalidad a pesar de todo, algo que no puede permitirse la Ciencia en el momento histórico actual. Por ello y a pesar de que esta misma memoria cuenta con un PIC la postura seguida es la propuesta por Feyerabend: *todo vale*⁷.

El principio de “todo vale” es una herramienta metodológica que permite al investigador fijar objetivos y escoger teorías estableciendo premisas relativas a la problemática estudiada dando la importancia a las anomalías que es negada en los PICs de Lakatos. Su principal función es desligar la investigación científica del concepto de verdad absoluta y de método infalible, pero, es imprescindible tener en cuenta los límites éticos. Toda investigación que utiliza este principio se desliga del racionalismo aceptando que la construcción del conocimiento científico es independiente de la verdad, pero nunca lo es de la ética (Shaw 2017).

Aún hoy asusta reconocer que la Ciencia en multitud de situaciones es irracional, puesto que se asocia irracional a “malo”⁸: lo racional es “bueno” y lo irracional “malo”, pero bien y mal son conceptos éticos. La confusión entre bien y verdad surge porque tradicionalmente se define la verdad como un bien que perseguir. Un estado del pensamiento científico naíf que no es más que la prolongación del platonismo para masas que durante más de veinte siglos ha regido la cultura occidental. Como decía Nietzsche en EL OCASO DE LOS ÍDOLOS: «¡Esa vieja embustera que es la razón se había introducido en el lenguaje!» (Nietzsche 1998).

No es que el racionalismo ahora sea malo, es que pertenece a la ciencia del siglo XIX no a la del XXI, pero lo hemos conservado por el error de concebir la historia como racional y lo racional como un bien. Feyerabend en TRATADO CONTRA EL MÉTODO afirma que todo vale porque no hay un método infalible; ahora bien, también cuestiona la relación entre Estado y Ciencia (la ciencia como institución dogmática) y pone de manifiesto una realidad, a veces muy incómoda para los racionalistas, que la Ciencia es una actividad humana y por tanto también se compone de mitos, y no de verdades absolutas:

⁷En inglés *anything goes*.

⁸El irracionalismo es una corriente filosófica tan válida como el racionalismo. En cualquier caso, la crítica se dirige a la propia irracionalidad dentro de la racionalidad. Existe un largo debate sobre si Feyerabend era irracionalista o racionalista, pero esto es otra historia (Finocchiaro 2021).

«El mito carece por tanto, de toda relevancia objetiva; continúa existiendo debido sólo al esfuerzo de la comunidad de creyentes y de sus dirigentes, sean éstos sacerdotes o ganadores del premio Nobel. Este, creo, es el argumento más decisivo contra cualquier método, sea empírico o no, que fomente la uniformidad. Cualquier método de este tipo es, en último término, un método fraudulento. Refuerza un conformismo oscurantista, mientras habla de la verdad; conduce a un deterioro de las capacidades intelectuales, del poder de la imaginación, mientras habla de conocimiento profundo; destruye el don más precioso de la juventud —su enorme poder de imaginación— y habla de educación» (Feyerabend 1986).

Una metodología alejada del racionalismo permite introducir aspectos subjetivos pero esenciales para la Ciencia como son las metáforas o los mitos. Lo importante es entender que la Ciencia no tiene un camino recto de verdades inamovibles, sino que las diferentes teorías sujetas a la historia racional de su PIC y a la historia irracional externa intentan explicar la realidad que nos rodea (Kuhn 2018). La ciencia no conoce el cosmos con una verdad objetiva, sino que crea relatos, metáforas, para explicarnos a nosotros mismo que y como es el mundo.

Antes de proceder con la adaptación de las metodologías de los PIC como historia racional y el dadaísmo epistemológico como subjetividad en la investigación es necesario aclarar un concepto que será esencial en la defensa de las teorías que componen el cinturón auxiliar de esta memoria, las *generalizaciones empíricas*.

Estas generalizaciones empíricas son un método inductivo, donde se restringe la creación de hipótesis a los límites deducidos por la observación de la naturaleza. Su utilización se ha de entender como una herramienta para la construcción del relato que aborda la problemática entorno al medio natural, así como, persuadir al lector a aceptar ciertas ideas.

Sí, persuadir como objetivo, no la verdad objetiva. Un problema tan grave como la crisis ambiental y todos sus sinónimos (pérdida de biodiversidad, cambio climático, colapso, crisis energética...) no se puede abordar sin olvidar que es un problema que atañe a toda la población y que gran parte de esa población ya es inmune a la visión científica oficial (Hotez 2020).

«Incluso el racionalista más puritano se verá obligado entonces a dejar de argumentar y a emplear, por ejemplo, la propaganda no porque alguno de sus argumentos haya

dejado de ser válido, sino porque han desaparecido las condiciones psicológicas que le permitían argumentar efectivamente y, por tanto, influir sobre los demás» (Feyerabend 1986).

No hay que malinterpretar el párrafo anterior, en gran medida en esta memoria se utilizan argumentaciones y procedimientos tradicionales de la Ciencia, porque el público principal es la comunidad científica, pero aunque no sea posible nada más que esta pequeña apreciación es necesario que la comunidad científica entienda que no se establecen verdades, sino argumentaciones que los ciudadanos han de aceptar o rechazar por propia voluntad.

Por último, en esta memoria se asume que la multidisciplinaridad ha sido otro de los factores clave en a la creación del programa de Doctorado en Biodiversidad y Gestión Ambiental como respuesta a los graves problemas ambientales detectados en diferentes disciplinas a principios del siglo XXI (Wollenweber et al. 2005, Pertoldi y Bach 2007, D’Odorico et al. 2013).

La introducción de la multidisciplinaridad en la actividad científica implica la necesidad de unificar campos del saber en los que previamente su historia era independiente, pero este proceso de unificación no ha de ser confundido con la creación de un cuerpo teórico único como sucede en la obra de Edward O. Wilson con el término “Consiliencia” (Wilson 1999).

La multidisciplinaridad requiere de una diversidad teórica, donde no haya una explicación o aproximación al conocimiento única, sino un respeto y un incentivo a la diversidad de explicaciones que permita seguir estimulando la imaginación humana. El dogma, visión única, no puede ser defendido como valor ético de la Ciencia. Eso no quita que la obra de Wilson sea científica, bajo el principio de “todo vale” hasta la propia negación del principio tiene cabida; pero también es necesario destacar el peligro que suponen estos planteamientos para la diversidad teórica.

La necesidad de la multidisciplinaridad en el cambio climático ya ha sido propuesta y no es original de está memoria. Pero a diferencia de otras propuesta la manera de afrontar el problema con una metodología dadaísta y la integración de las nociones de biosfera y noosfera, junto a la sustitución de la teoría sintética por la teoría simbiogenética es una respuesta nueva a esta necesidad (Maslin 2019, Morgan 2021).

En resumen, la necesidad de utilizar diversas metodologías y teorías (pluralismo teórico) para establecer un paradigma multidisciplinar capaz de responder ante los diversos cambios tanto sociales como naturales es un reto titánico

que la Ciencia tiene por delante; pero a la vez este reto permite la sinergia de ambas partes, teoría y metodología, permitiendo el desarrollo de paradigmas alternativos que lidien con la crisis de biodiversidad.

1.2 Crisis, anomalías y revolución en Biodiversidad y Gestión Ambiental

El punto más sencillo de partida para la creación de un paradigma en Biodiversidad y Gestión Ambiental es empezar por de la elaboración de un PIC, donde se contemple que ambas partes de la disciplina son conmensurables, es decir, la biodiversidad y el medio ambiente son lo mismo. Pero además, es necesario introducir la subjetividad dentro del núcleo firme para introducir una anomalía esencial, nosotros mismos.

Para abordar la complejidad de aunar los diversos campos de estudios que pretende narrar *La construcción del relato* se han elegido una serie de afirmaciones heurísticas que permiten el estudio de diversos paradigmas; estas afirmaciones heurísticas componen el núcleo firme de esta memoria. Las afirmaciones son las siguientes:

1. Construir un marco teórico común en las ciencias ambientales y de la vida usando como paradigma que los seres vivos crean el medio ambiente en el que viven.
2. Las relaciones ecológicas son parte esencial de la variabilidad genética y la biodiversidad.
3. El planeta tierra es finito y cumple las leyes de la termodinámica, siendo el Sol la fuente de energía del sistema Tierra.
4. *Homo sapiens sapiens* se ha convertido por si solo como especie en una fuerza geológica. Es decir, su actividad no afecta solo a la biosfera, sino también a la geosfera.

Ahora bien, como se ha explicado en el apartado anterior no es posible quedar restringido a la metodología de los PIC porque estos principios han sido elaboradas con la intención de unificar una serie de teorías (cinturón auxiliar) y no de ser justificados por ellas.

Este aspecto de la investigación es muy importante porque ante nosotros hay un campo de estudio en desarrollo que no ha podido ser delimitado todavía, pero a pesar de ello, se ha creado como solución a diferentes crisis en campos

más asentados (Biología, Edafología, Hidrología ...) y es el estudio de las crisis en cada campo lo que delimita la elección de las teorías y no el núcleo firme expuesto.

Las teorías que van ser tratadas de forma general son una ampliación del trabajo de Margulis que previamente asimiló los conceptos de biosfera de Vernadsky y Gaia de Lovelock; así como una defensa de su propia teoría evolutiva, la simbiogénesis frente a la teoría sintética de la evolución.

El cinturón auxiliar se compone de las siguientes teorías, hipótesis, generalizaciones empíricas y conceptos, algunos de ellos vigentes en sus campos otros alternativos e incluso algunos en desarrollo como el decrecimiento:

- Conceptos de biosfera y noosfera de Vernadsky (Vernadsky 1998).
- Teoría Gaia de Lovelock (Lovelock 1995).
- Teoría Simbiogenética de Margulis (Margulis y Sagan 2003).
- Los 5 factores del suelo de Dokuchaev como base de la edafosfera (Dokutchaevev 1893).
- Teoría del *Equilibrio Puntuado* (EP) (Gould y Eldredge 1972).
- La ecología del reino *Fungi*.
- EL *decrecimiento económico* y surgimiento de la *Economía Ecológica* como parte de la Gestión Ambiental (Turiel 2020).
- El principio de Redi: *Omne vivum ex vivo*.

Todos estas cuestiones serán abordadas en la memoria y se defenderán sus PICs, así como se utilizarán para criticar paradigmas rivales y discutir las críticas de los paradigmas rivales en un ejercicio de dialéctica que contribuya a la propia discusión científica en la Biodiversidad y la Gestión Ambiental. Para ello, en esta memoria, en adelante, se recurrirá a la historia tanto interna como externa (irracional) al uso de metáforas y mitos, así como la crítica de mitos pseudocientíficos que agravan la crisis de biodiversidad.

A continuación se ofrece un pequeño ejemplo al lector, un microrelato para que se familiarice con la estructura y narrativa de la memoria. En concreto, el desarrollo de la teoría simbiogenética a la sombra de la teoría sintética de la evolución durante el siglo XX:

La teoría en la sombra

En la primera mitad del siglo XX la Simbiogénesis fue propuesta por Konstantín Merezhkowsky que afirmaba que los cloroplastos tenían una morfología similar a las cianobacterias (Kutschera y Khanna 2022), pero esta idea no tenía cabida para el Darwinismo del siglo XX puesto que no encajaba con las leyes mendelianas, hasta que en 1967 Lynn Margulis⁹ sienta las bases de la endosimbiosis seriada demostrando que la evolución mediante simbiosis no solo es posible sino que es el factor evolutivo que separa a los Procariontes de los Eucariontes (Sagan 1967).

Aplicando la teoría de las estructuras científicas de Kuhn, el paradigma alternativo¹⁰ (teoría simbiogenética) aumenta su cuerpo teórico y metodológico durante el desarrollo de la ciencia normal del paradigma vigente (teoría sintética de la evolución), hasta que se produce una anomalía de importancia (salto evolutivo de Procarionte a Eucarionte) que el paradigma alternativo puede resolver o al menos plantear; entonces si la comunidad científica considera relevante la anomalía se produce una revolución científica de acuerdo con Kuhn.

Por otra parte, usar la metodología dadaísta, proporciona otra ventaja, ya que permite diseñar diferentes métodos que se pueden añadir a los clásicos empiristas (generalizaciones empíricas) y racionalistas (PICs). En esta memoria se propone un método bibliométrico con el objetivo de saber cual es la popularidad de una determinada teoría o paradigma en la comunidad científica.

Este punto es crucial, puesto que facilita conocer que partes del relato en construcción son más respaldadas y por el contrario que argumentaciones son acogidas con más reticencias por parte de la comunidad científica. También el uso de métodos bibliométricos permite aproximarse al concepto histórico de paradigma introducido por Kuhn ayudando a la cohesión de la comunidad sin perder la diversidad.

⁹Durante un tiempo conocida como Lynn Sagan.

¹⁰Se habla en singular pero pueden ser varios paradigmas los que se encuentren en un punto viable, pero que no se den las circunstancias históricas para ser tenidos en cuenta.

En conclusión, si se pretende profundizar en la importancia de la (bio)diversidad es imprescindible que exista esa misma diversidad en la investigación y en el pensamiento científico, de otra manera, sin diversidad teórica y metodológica el resultado es la destrucción de la biodiversidad que pretendemos salvar.

2. Bibliometría: un método para monitorizar el estado de un paradigma

Uno de los nuevos métodos que ha surgido es el análisis bibliométrico, el cual permite monitorizar y crear ideas de conjunto sobre que se está haciendo actualmente en diferentes disciplinas (Donthu et al. 2021). Dentro del análisis bibliométrico y del ecosistema R destaca **bibliometrix**, una biblioteca de funciones que analiza datos descargados desde diferentes bases de datos bibliográficas como *Scopus* o *Web of Sciences* (Aria y Cuccurullo 2017).

La biblioteca **bibliometrix** permite analizar los datos obtenidos de la búsqueda bibliográfica aportando resultados sobre el número de publicaciones por año, el número de citas por publicación, las palabras relacionadas con la búsqueda, países que destacan en la investigación de los términos buscados... Un gran número de funciones que permiten inferir información sobre el estado actual de una investigación determinada.

A pesar de no existir una meta-metodología que permita decir cual teoría o metodología es mejor en base a puros criterios objetivos (incommensurabilidad) si existen análisis de la actividad científica que permite observar el momento en que se encuentra un paradigma o Programa de Investigación Científica.

La capacidad que ofrece el análisis bibliométrico es aportar una metodología para la contextualización histórica de un PIC. Se trata de una contextualización reciente, pues hasta la segunda mitad del siglo XX no se produjo una explosión de publicaciones y la digitalización de la hemeroteca científica tiene una corta historia que apenas supera al siglo XXI en unas pocas décadas; pero permite ver el recorrido científico en las últimas décadas (Pascon 1997).

A colación de lo anterior, la metodología seguida en este trabajo, con sus limitaciones, pretende conocer el impacto de determinados términos en la comunidad científica. Si las publicaciones más citadas crecen en los últimos años o decrecen es un reflejo sobre el interés científico por ciertos conceptos; junto a ello, un análisis de coocurrencias de palabras en los resúmenes permite

ver que otros términos son los más repetidos en las publicaciones analizadas y apreciar las tendencias y cambios históricos en la investigación científica.

Estos métodos, son métodos bibliométricos disponibles en software libre a través de *bibliometrix*, pero la bibliometría es una disciplina científica propia que se ocupa de medir el impacto científico de las publicaciones y permite una mejor comprensión de la multidisciplinaridad (Ellegaard y Wallin 2015).

Así, La bibliometría habla sobre el estado de una disciplina científica, no sobre si está en lo correcto. Mensurar implica cuantificar, pero la calidad no se puede medir y un aumento en la cantidad de publicaciones no tiene porque significar un aumento en la calidad, pudiendo implicar justo lo contrario, una pérdida de rigurosidad científica en favor de la productividad (Grimes et al. 2018). Lo que se analiza es la cantidad de literatura que se ha producido y su impacto dentro de la comunidad científica.

La transformación que ha implicado la computación, incluyendo la bibliometría, en el desarrollo científico actual, se da pareja a un cambio histórico naturales que implica un cambio climático y pérdida de biodiversidad. Estas nuevas herramientas son de gran ayuda para la creación de un marco teórico y metodológico adecuados para abordar los retos ambientales, a la vez que construir un relato coherente e interconectado sobre el medio natural a nivel global.

2.1 Bibliometría revoluciones científicas y Dadaísmo

En la memoria se van a estudiar diferentes paradigmas algunos que en este momento son alternativos en sus campos y otros que están vigentes. En ambos casos es necesario atender si dichos paradigmas se encuentran en un *proceso expansivo*, en *estancamiento* o en *recesión* (Figura 2.1). Hay que tener claro que un paradigma alternativo normalmente tiene bastante menos seguidores y que un pequeño aumento en cuanto al numero de publicaciones y citas puede significar que toma fuerza, pero aun así seguir lejos de ser tomado en cuenta por la comunidad científica.

Por el contrario, un paradigma o teoría del cinturón auxiliar vigente que a día de hoy sigue teniendo un gran número de publicaciones, pero que este número ha decrecido en los últimos años es un indicativo de que aunque el paradigma siga vigente se encuentra en retroceso. Además puede darse el caso de que un paradigma tuviera un momento de expansión apareciera alguna dificultad en su

progresión, que posteriormente haya vuelto a crecer, pero no haya recuperado el punto máximo de publicaciones.

Es importante entender que esta propuesta de manejar el impacto de los paradigmas es una simplificación (reducción) de la complejidad histórica y en un periodo histórico muy reciente. Sin perder de vista que la historia irracional, como la pandemia sufrida en 2020, también afecta al número de publicaciones.

Es quizás Feyerabend de entre los tres autores tratados en el Capítulo 1 el que mejor resumen ofrezca de la interpretación de un paradigma en regresión o en expansión. En TESIS A FAVOR DEL ANARQUISMO (Feyerabend 2009) aclara las apreciaciones previas de Kuhn y Lakatos, exponiendo que un paradigma progresivo, llamado aquí en expansión, permite el descubrimiento de nuevos hechos, mientras que un paradigma regresivo no es capaz de descubrir nuevos hechos y tan solo puede centrarse en absorber los descubrimientos de otros programas (PIC) rivales.

Realmente no es posible “medir” mediante bibliometría si un paradigma descubre nuevos hechos y la definición de hecho puede variar según el campo, el momento o la disputa entre diferentes PICs. Este aspecto tiene que quedar meridianamente claro como parte del desarrollo metodológico; el abandono de un PIC no queda justificado en ningún caso por su pérdida de popularidad (Lakatos et al. 2018 p. 30).

En cualquier caso, se asume que el paradigma en expansión es el que aumenta el material publicado¹, mientras que un paradigma en regresión es el que ha alcanzado su zenit en cuanto a número de publicaciones en un determinado momento y posteriormente ha ido disminuyendo el número de publicaciones por año.

Por supuesto lo anterior responde a una lógica de mercado que es parte de la historia externa² que vivimos en el siglo XXI e implica la cuantificación de

¹Se asume no porque sea verdad, sino porque es la única forma de medir disponible. Tómese esta asunción como una forma de estudio social sobre la actividad científica y no como una metodología de estudio de la realidad natural. Es por ello que para cada PIC, teoría o hipótesis planteada se recurrirá a generalizaciones empíricas, razonamiento deductivo..., pero no hay que olvidar la importancia de tener en cuenta la parte sociológica de la actividad científica que la bibliometría nos permite conocer.

²Los términos externo e irracional se usan indistintamente para referirse a todo aquello que afecta a la actividad científica sin ser propiamente ella misma. La ambigüedad del término se debe a que en Lakatos et al. (2018 pp. 85-87) Kuhn crítica la separación que hace Lakatos de historia interna y externa afirmando que el propio Lakatos se refiere a la reconstrucción racional (historia interna), frente a los acontecimientos externos de una disciplina (externa/irracional). Esta discusión aunque de vital importancia en la Epistemología es poco o nada relevante para evaluar la calidad de una metodología, al menos en el momento actual en que la comunidad todavía es reticente a aceptar lo irracional

la “productividad” en ciencia. No hay que confundir progreso científico con aumento de la producción, puesto que sería asumir un paradigma económico sin ningún rigor científico como una verdad sobre el desarrollo científico. Para resolver esta contradicción entre la dificultad de definir correctamente el progreso científico, pero solo disponer de datos cuantitativos de material publicado hay que volver a recurrir a las propuestas de Feyerabend.

En el mismo texto, TESIS A FAVOR DEL ANARQUISMO, Feyerabend recuerda que es indiferente que un paradigma sea progresivo o regresivo, esto es simplemente un momento concreto en la “lucha” de paradigmas o ideas, y que tan solo los propios investigadores tienen la potestad de abandonar o no un programa de investigación o paradigma.

Esta aclaración es un aviso ético importante, puesto que al utilizar bibliometría que mezcla tecnología de la computación y productividad, puede parecer un criterio de evaluación científica cuando simplemente es un valor descriptivo de una investigación y no un cálculo de coste/beneficio sobre una investigación científica. Es más, es importante el trabajo científico en PICs alternativos o regresivos si queremos evitar que la ciencia disruptiva desaparezca por completo y todo consista en una acumulación de conocimiento o ciencia normal (Park et al. 2023).

En conclusión, aunque se utilice a lo largo de la memoria el análisis bibliométrico con el objetivo de conocer la popularidad de diversas ideas en la ciencia en ningún caso este criterio es el que demuestra la validez o invalidez de un PIC. El saber humano no puede ser evaluado por la simple idea de acumulación de conocimiento como si de acumulación de capital se tratase puesto que esto aleja la Ciencia del humanismo y la subyuga al capitalismo académico (Jessop 2017).

2.2 El método

El método empleado se puede esquematizar con un bucle infinito que permite construir una visión de conjunto tan extensa como se quiera (Figura 2.2). En un primer paso se buscan los términos preseleccionados en *Scopus*³, aunque se pueden utilizar otras bases de datos, y en caso de superar el límite de 2000 publicaciones se seleccionan 2000 con mayor número de citas con el objetivo de ver el impacto en la comunidad.

como algo intrínseco a toda actividad humana, por ello se asumen ambos términos como equivalentes a lo largo de la obra.

³Página principal *Scopus*: <https://www.scopus.com/>.

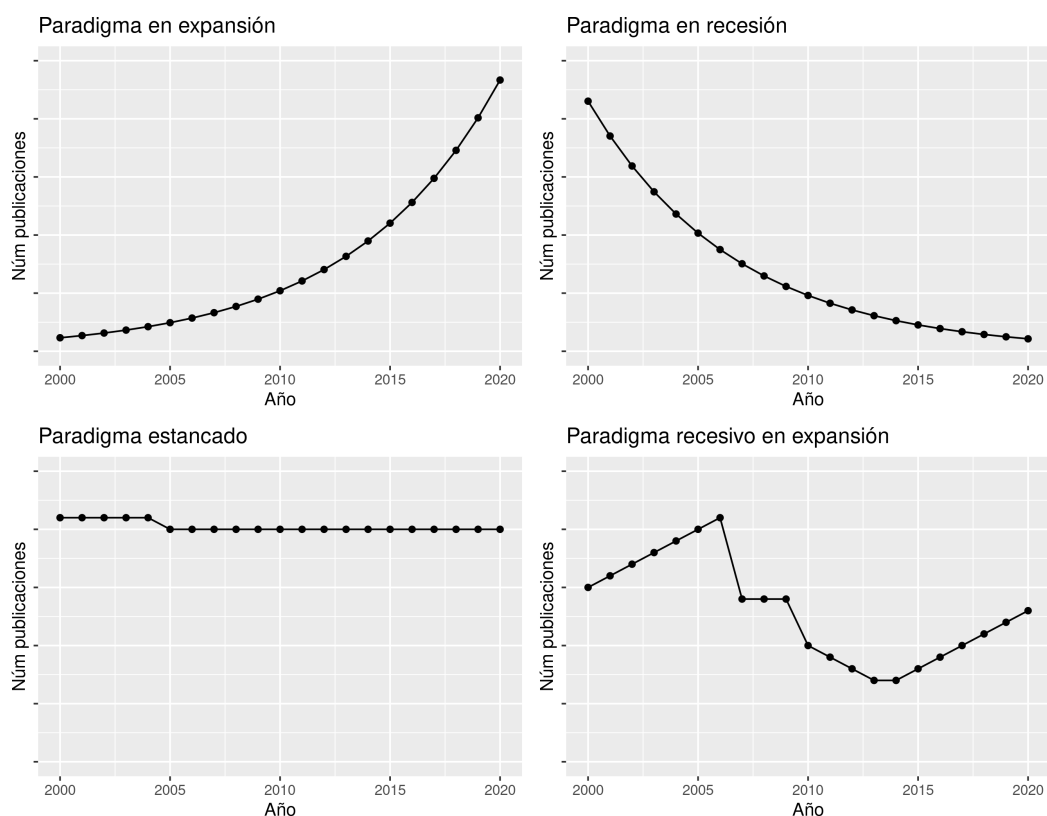


Figura 2.1: Ejemplificación de los posibles estados de un paradigma en función de las publicaciones a lo largo del tiempo. Esta información es indicativa, pero nunca determinante debido a la historia externa.

La selección 2000 se debe a que es el máximo de referencias que *Scopus* permite descargar en un solo archivo, por tanto se trata de un límite técnico que viene dado por el propio instrumental de laboratorio.

Posteriormente, se utiliza *bibliometrix* para conocer el número de publicaciones por año sobre el tema buscado y la relación de coocurrencia de palabras clave en las publicaciones (Aria y Cuccurullo 2017).

El objetivo es visualizar la variación en la popularidad de diferentes paradigmas, al usarse las publicaciones con más citas y no las más reciente se puede observar si la investigación se encuentra en una fase creciente, se ha estancado, está decreciendo o el impacto en la comunidad se mantiene en el tiempo.

Por último se discute sobre los resultados obtenidos, tanto la tendencia de crecimiento de publicaciones sobre un tema concreto, como la relación entre las palabras clave. De dicha discusión se obtienen nuevos términos de búsqueda y se repite el proceso.

Aclarar que aunque se obtienen nuevos términos por las propias coocurrencia de palabras, lo deseable es que seamos nosotros como investigadores los que

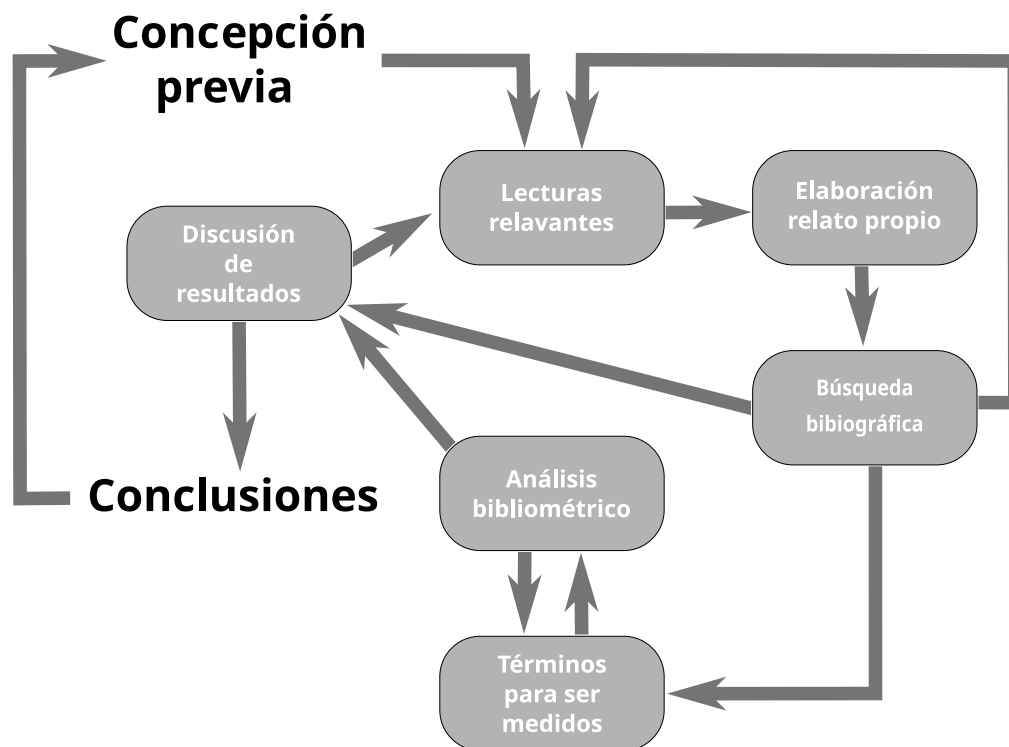


Figura 2.2: ciclo de la metodología empleada.

añadamos nuevas búsquedas a partir de las distintas obras de referencia previamente leídas.

El resultado de aplicar este método es una visión de conjunto tan compleja como se desee sobre diferentes campos de estudio, simplemente hay que asegurarse que la bibliografía respalda el relato en construcción, sin olvidar que la coherencia interna del relato es la parte fundamental y el análisis bibliométrico es un soporte, una herramienta, de apoyo en la investigación.

Una vez se disponen de los datos bibliográficos en formato `.bib` o `.csv` se realiza el análisis mediante el siguiente código:

```

library( bibliometrix )
library( ggplot2 )
library( ggrepel ) ## Permite colocar etiquetas correctamente

##### Inputs #####
directorioDatos <- "../scopusSearch/"
resultadosGraf <- "../figuras/plotList.rds"
resultadosText <- "../figuras/arrayPalabras.rds"

nombresCastellano<-c( "Mundo de Margaritas", "Decrecimiento",
                     "Dokuchaev y suelo", "Holobionte",

```

```

        "Hologenoma", "Capital natural",
        "Equilibrio Puntuado",
        "Sustentabilidad y justicia climática",
        "Crecimineto sustentable", "Simbiogénesis",
        "Vernadsky y Biosfera")

plotList      <- list() ## lista publicaciones/año
plotKeyWords  <- list() ## lista palabras clave coocurrencia
arrayPalabras <- NULL   ## array para cálculo de frecuencia palabras

files <- list.files( directorioDatos,
                    pattern = ".bib",
                    full.names = TRUE )

keySearch <- gsub( x = files, pattern = ".*/", replacement = "" )
keySearch <- gsub( x = keySearch, pattern = ".bib", replacement = "" )

##### Procesado #####
for ( i in 1:length( files ) ) {
  M <- convert2df( file = files[ i ],
                  dbsource = "scopus",
                  format = "bibtex" )

  results <- biblioAnalysis( M, sep = ";" )
  summary( results ) -> sumario ## resumen resultados

  dfProduction <- sumario$AnnualProduction ## publicaciones/año
  dfProduction[ -nrow(dfProduction) , ] -> dfProduction ## eliminar 2022

  as.numeric( as.character( dfProduction$`Year` ) ) -> dfProduction$ano
  max( dfProduction$Articles )->maximo ## maximo de publicaciones en un año

  ## plot publicaciones/año
  plotList[[i]] <- ggplot(data = dfProduction,
                          aes(x = ano, y = Articles, label=Articles)) +
    geom_line() +
    geom_point()+
    geom_text_repel(data=subset(dfProduction, Articles==maximo),
                    color="red")+
    ggtitle(paste(nombresCastellano[i]))+
    xlab("Año") + ylab("Articulos publicados")

  ## Matriz coocurrencia palabras clave
  NetMatrix <- biblioNetwork(M, analysis = "co-occurrences",
                              network = "keywords", sep = ";")
  NetMatrix@Dimnames[[1]]->palabras

```

```

arrayPalabras<-c(arrayPalabras,palabras)
# Plot matriz coocurrencia palabras clave
# png(filename = paste("../figuras/",keySearch[i],".png", sep=""),
#       width = 1085, height = 823, res=140)

# pdf(paste("../figuras/",keySearch[i],".pdf", sep=""),          # File name
#     width = 8, height = 7, # Width and height in inches
#     bg = "white",          # Background color
#     colormodel = "cmyk"    # Color model (cmyk is required for most publications)
#     paper = "A4")

svg(paste("../figuras/",keySearch[i],".svg", sep=""))

net<-networkPlot( NetMatrix, normalize = "association", weighted = TRUE,
                  n = 30, Title = nombresCastellano[ i ], type = "fruchterman",
                  size=T, edgesize = 5, labels size = 0.7 )
  dev.off()
}

## Guardado gráficos publicaciones por año
saveRDS( plotList,"../figuras/plotList.rds" )
saveRDS(arrayPalabras, "../figuras/arrayPalabras.rds" )

```

Para evitar tener que computar nuevamente el código, se guardan los gráficos de publicaciones por año en un objeto RDS que permite restaurar objetos creados en R (R Core Team 2022). Además, se crea una variable `nombresCastellano` para traducir los términos de la búsqueda del inglés al castellano y se extraen las palabras clave que conforman el modelo de coocurrencia de palabras (`arrayPalabras`) que aparecerán en los capítulos correspondientes.

En los gráficos de coocurrencias solo se muestran los 30 términos de mayor relevancia para el algoritmo, pero mediante `arrayPalabras` se extraen todas las palabras encontradas en el análisis y en el capítulo de resultados (Capítulo 8) se utiliza para crear una tabla con los términos que han aparecido en todas las búsquedas.

Los gráficos de evolución del número de publicaciones por año resaltan en rojo el valor máximo de publicaciones `max` (`publicaciones/año`) o año con más publicaciones como se verá en los capítulos siguientes.

Añadir que de ser necesario se podrá acceder a información extra en el objeto `sumario`. Sin olvidar que hay que tener en cuenta que por motivos puramente de programación se utilizan las bibliotecas `ggplot2` (Wickham 2016) y `ggrepel` (Slowikowski 2021).

También es importante aclarar que en ningún caso esta metodología sustituye la subjetividad humana como último criterio de validación. El objetivo es permitir una relación de conceptos más amplia y comprender la evolución de una disciplina o campo de estudio, pero siempre se requiere de una interpretación humana a la hora de inferir resultados o preguntas a partir de los datos bibliográficos.

La importancia de este método en Biodiversidad y Gestión Ambiental consiste en permitir a los investigadores monitorizar la multidisciplinaridad de conceptos, teorías y campos de estudios que componen las ciencias biológicas y ambientales, pues idealmente todos los conceptos deberían ser intercambiables y fáciles de conectar unos con otros. Pero como se verá a lo largo de la memoria hay veces que las contradicciones hasta dentro de un mismo campo pueden volverse insalvables, como sucede en la disputa entre saltacionismo y gradualismo (Capítulo 6).

Más importante aún, este método permite detectar conceptos utilizados en diferentes campos de estudio, que a pesar de nombrarse de la misma forma pueden presentar problemas de conmensurabilidad como sucede entre la Toxicología y la Ecotoxicología donde ambas disciplinas se enfrentan tanto a problemas internos (estudio de laboratorio frente a estudios de campo) como externos (presiones económicas y políticas), sumado a la inmensidad de fuentes de datos toxicológicos que existe actualmente (Bazerman y De los Santos 2005).

Recurriendo por última vez a Feyerabend y al dadaísmo epistemológico, se puede decir que el método expuesto en este apartado se compone de una parte técnica y una parte interpretativa humana. La parte técnica se compone de código de R y *bibliométrix*, mientras que la interpretativa consiste en la lectura de la serie temporal de publicaciones/año y los gráficos de conjuntos de palabras generados por el algoritmo.

3. Biosfera, el término que lo agrupa todo

La Biodiversidad y la Gestión Ambiental para poder ser consideradas como una única disciplina, o al menos un conjunto de disciplinas unificables de algún modo, necesita de un objeto de estudio común, un término que agrupe y recoja las particularidades de cada campo de estudio que la componen como disciplina, y ese objeto de estudio común es la biosfera. Así, en el caso de la Biología el estudio se agrupa en torno al concepto de vida, en la Química en torno al concepto de transformación¹ y la Geología es el estudio de la Tierra. Entonces una disciplina que tenga que agrupar la Biología, la Geología y la Química deberá tener en cuenta las transformaciones que la vida realiza en la Tierra.

Es necesaria una conceptualización del medio ambiente similar a la del párrafo anterior para poder dar una respuesta al cambio climático, porque cuando nos preguntamos por la alteración, independientemente de las causas (naturales o antropogénicas), que se está dando en la biodiversidad y el medio ambiente hemos de poder definir sobre qué cuerpo natural se está produciendo el cambio climático. ¿Se produce sobre la Tierra? ¿sobre la vida? o ¿sobre la composición química de nuestro entorno? La respuesta es sobre los tres cuerpos simultáneamente. Entonces mediante una generalización empírica a partir de la observación en estas tres ramas de las Ciencias Naturales se puede inferir la existencia de un cuerpo natural que se compone de los tres objetos de estudio: La biosfera.

En este capítulo se pretende ahondar en diferentes aspectos de la biosfera que resultan de vital importancia para su constitución como objeto de estudio propio. Aunque ha de tenerse en cuenta que los conceptos, teorías e hipótesis que se exponen a continuación no son sistemáticos ni cerrados. Dicho de otro modo, no se ha establecido una definición de biosfera de la que se derivan metodologías y teorías como haría un Programa de investigación científica (PIC) tradicional, por el contrario se han abordado diferentes conceptos en torno a la biosfera elegidos

¹La transformación de la materia. De hecho la química se escinde de la Alquimia al negar las transformaciones metafísicas como objeto de estudio.

de forma dadaísta o subjetiva. Eso sí, cabe aclarar que una vez se escoge un concepto (energía, ciclos biogeoquímicos, homeostasis...) para su integración en la biosfera se sigue la misma rigurosidad que exige cualquier PIC en ciencia normal.

Por lo tanto, el objetivo a conseguir es la definición de un concepto abierto que permita a cada individuo de la comunidad científica relacionar su campo de estudio con la biosfera manteniéndose la coherencia interna tanto en su disciplina como en la conceptualización de la biosfera. Además de permitir el falsacionismo sofisticado de las teorías que contengan el término de biosfera.

Por ejemplo, como se verá en el Capítulo 6, una teoría de la evolución biológica debe ser falsable en Geología y en Química y no solo en Biología, puesto que debe introducir a los seres vivos como cuerpos naturales con Historia Natural en la Tierra y como sistemas moleculares que realizan transformaciones de materia y energía.

La Ciencia y en especial las metodologías científicas deben de ser *Open Science* (ciencia abierta), que básicamente es libertad de pensamiento apoyada en el uso de la técnica por comunidades libres (Vicente-Saez y Martinez-Fuentes 2018). Por ello, me gustaría señalar la belleza de un concepto de biosfera construido mediante “código” libre sobre el que cualquier ser humano pueda debatir y construir libremente.

3.1 La conceptualización de la biosfera

Dado que, el concepto en torno al que se agrupa el medio ambiente y la biodiversidad es la biosfera, pero es necesario el desarrollo de un cuerpo teórico que defina la biosfera y que también permita su estudio.

El primero en abordar el estudio de un concepto para la biosfera fue Vladimir Ivanovich Vernadsky que utilizó las generalizaciones empíricas como metodología de estudio. Vernadsky se centró en entender las transformaciones de materia y energía que se dan en la superficie terrestre por los seres vivos; partiendo de la definición de Eduard Suess (Vernadsky 1998 p. 91), Vernadsky estableció que la biosfera es un cuerpo natural compuesto por cuerpos vivos (biota), cuerpos inertes (rocas, minerales...) y cuerpos bio—inertes (suelo, océano...) (Vernadsky 2014a).

Para completar esta definición estableció la Biogeoquímica como campo de estudio para estudiar las interacciones químicas entre los tres tipos de cuerpos naturales que componen la biosfera. A partir de este concepto de biosfera, la

Biogeoquímica se define como el estudio de las transformaciones químicas que se producen en la biosfera.

Para estudiar la biosfera no es suficiente con la Biogeoquímica, en su hipótesis Gaia Lovelock plantea la necesidad de una Geofisiología que se encargue del estudio de la Tierra o biosfera² como si de un ser vivo se tratase. En LAS EDADES DE GAIA (Lovelock 1995 p. 25) Lovelock destaca la importancia de la Geofisiología en el estudio del medio ambiente.

La Geofisiología y la Biogeoquímica nos permiten estudiar el medio natural desde una perspectiva tanto biológica como química respectivamente (Lovelock 1989). Es materia para un largo debate la relación entre ambas disciplinas y posibles solapamientos en los estudios, pero parece considerable que este problema ha de ser aplazado puesto que la conceptualización de la biosfera como objeto de estudio aún se encuentra en construcción.

En cualquier caso este capítulo aborda la obra de Vernadsky y Lovelock con el objetivo fundamental de ayudar en la difusión de la teoría simbiogénica de Lynn Margulis que se asienta en las definiciones de medio ambiente dadas por ambos autores. Además se aborda la relación entre la biosfera y la Termodinámica que fundamenta la hipótesis Gaia y que puede ser uno de los factores claves a la hora de abordar el cambio climático como se verá en el Capítulo 5.

3.2 La biosfera: entre la Tierra y el Cosmos

Como se ha señalado en el apartado anterior, la definición de biosfera con la que trabajó Vernadsky fue la dada por Suess según la cual la biosfera es la envoltura terrestre saturada de vida (Vernadsky 1998 p. 91). Pero además, Vernadsky a partir de esta definición distingue dos regiones, el cosmos y la geosfera que al interactuar forman una tercera región en la superficie terrestre: la biosfera. Así ubicó la biosfera espacialmente en el cosmos y en la Tierra.

La biosfera unifica el medio ambiente y la biota que lo compone, además de introducir el medio ambiente dentro de la Geología como una esfera propia dentro de la geosfera. En la cosmovisión de Vernadsky se asume que existen tres sistemas que interactúan entre sí para dar lugar al sistema Tierra: cosmos, geosfera y biosfera (Vernadsky 1998 pp. 43-44).

²Lovelock raramente diferencia entre la biosfera como envoltura superior de la corteza terrestre y la Tierra como totalidad. En esta memoria se trabaja bajo la idea de que se refiere a la biosfera, pero es verdad que esta es una de las aristas a pulir dentro del estudio de las ciencias de la Tierra. Pero, ¿Por qué es importante la existencia de ambas disciplinas?

El cosmos es el más difuso de los tres sistemas puesto que se refiere a todo aquello que proviene del espacio exterior, principalmente energía en forma de radiación. La geosfera está formada por la materia que compone el planeta incluyendo la biosfera. La biosfera a pesar de estar contenida en la geosfera se diferencia del resto al ser la que transforma la superficie del planeta mediante la energía del Sol. En resumen la biosfera es el resultado de la interacción entre el cosmos, la geosfera y la vida (biota).

La definición de biosfera dada por Vernadsky, desde un punto de vista materia-energía, es la de una región de transformadores (seres vivos) los cuales convierten radiación cósmica en diferentes formas de energía activa y aunque la radiación proviene de todas las partes del cosmos la práctica totalidad recibida en el planeta proviene del Sol, siendo la biosfera un “mecanismo” cósmico y terrestre a la vez (Vernadsky 1998).

Para proceder con un planteamiento adecuado de la biosfera es necesario partir de lo que toda materia y energía tienen en común: las leyes de la termodinámica. El estudio de la termodinámica en relación a los seres vivos ha sido ampliamente estudiado en los últimos años, y aunque la bibliografía desde una panorámica general es extensa, este capítulo se centra en la visión dada por Lovelock con el objetivo de sintetizar y ampliar su visión respecto a la relación entre termodinámica y biosfera. Por otra parte no hay que olvidar que Lovelock en la concepción de la teoría Gaia tiene presente la noción de biosfera de Vernadsky (Lovelock 1995).

Toda transformación de materia y energía sigue las leyes de la Termodinámica, da igual que hablemos de una estrella lejana o del núcleo de la tierra, pero la vida, y en concreto la biosfera se puede interpretar como un intento imposible de violar las Leyes de la Termodinámica. Imaginemos la radiación solar que se disipa en el universo, la entropía aumenta rápidamente y la forma de energía no varía simplemente se disipa en forma de calor, pero en el caso de la biosfera la energía del Sol se transforma en energía química que puede permanecer sin, prácticamente, alterarse durante periodos geológicos, como sucede con el petróleo o el gas natural.

Independientemente de la apelación a las leyes de la termodinámica y sus restricciones a la conservación y a la creación de energía, existen dos conceptos fundamentales para entender la importancia de los flujos de energía y materia en la biosfera: la *exergía* y la *entropía*. El primero expresa la energía disponible para la interacción de un sistema y su entorno; el segundo por su parte representa la probabilidad de ordenación de la materia en el espacio. Atendiendo al concepto de entropía, y dicho de otro modo, ¿cuál es la probabilidad de que los átomos

que conforman nuestro cerebro se encuentren en la posición espacial en la que se encuentran?

De acuerdo con Batty et al. (2014)³ cuanto más complejo es un sistema más información contiene y más diversa es esa información. Un átomo en una habitación puede encontrarse en cualquier parte, la probabilidad, sin más información, es la misma para cada posición dentro de la habitación. Por contrario, si un átomo que compone el cerebro se encuentra en una esquina de la habitación, el resto de átomos no pueden estar en la esquina contraria de la habitación.

En la actualidad se sigue trabajando en la definición de sistema complejo y en como medir la complejidad de un sistema. Una definición de entropía sobre la que más se trabaja en los sistemas vivos es el concepto de negantropía, o sintropía, de Schrödinger que implica la cantidad de entropía que un ser vivo es capaz de disipar (Schrödinger 1948, Castillo y Vera-Cruz 2011).

3.2.1 Exergía

La exergía es la energía disponible en la biosfera, obviamente la biosfera necesita energía para llevar a cabo las transformaciones de materia en la corteza terrestre. Esta energía viene del Sol y es captada mediante el proceso de fotosíntesis que produce los compuestos orgánicos (Petela 2008).

La fotosíntesis es la entrada principal de energía en la biosfera y por tanto lo que permite su existencia y función; transformar energía y materia en la superficie terrestre. Aun así, hay que tener en cuenta que la fotosíntesis no es la única forma en que biosfera obtiene energía, por ejemplo, existen organismos litótrofos (Ghosh y Dam 2009).

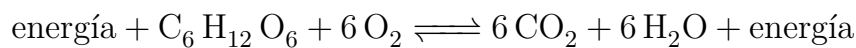
Tampoco se puede asegurar que la fotosíntesis sea la primera forma de obtener energía en la Historia Natural de los seres vivos. Se especula si la primera energía empleada por los seres vivos provenía del Sol o del calor interno de la tierra (eg. fisuras geotérmicas); aunque esta disputa está más relacionada con las teorías sobre el origen de la vida, que como se verá más adelante plantea ciertas dificultades (Capítulo 6). Existen ecosistemas aislados del Sol que utilizan energía geotérmica para poder realizar su actividad molecular (Smith 2012), pero a pesar de éstas excepciones la fuente principal de energía en la biosfera es el Sol.

³En Shannon (1948) se define por primera vez la entropía para un conjunto discreto como $H = -\sum_i p_i \log(p_i)$. Esta definición y cálculo es fundamental en Bioinformática como se verá más adelante.

Lo interesante de la discusión no es tanto cual es la primera fuente de energía usada por la vida, sino constatar que la vida transforma la superficie terrestre en puntos clave de los ciclos biogeoquímicos, es decir, la exergía implica que mediante el aporte de energía un sistema (organismo) puede transformar reactivos en productos.

Cuando las reacciones se dan dentro del ser vivo se conoce como metabolismo (Bioquímica), proceso por el cual los seres vivos transforman reactivos en productos, como el caso de la respiración o la fotosíntesis. Por el contrario cuando los ciclos o reacciones químicas no se dan exclusivamente en el interior de un organismo, sino que suceden a nivel de ecosistema o planeta se denomina proceso biogeoquímico.

Es curioso que los productos de la fotosíntesis sean los reactivos de la respiración y viceversa. Lo único que no cambia es la dirección de la energía que proviene del Sol y se disipa en diferentes formas de energía (mecánica, térmica, cinética, química...). La ley física de la termodinámica impide la conservación de la energía, así como la imposibilidad de obtener más energía en un sistema aislado⁴.



La biota eucarionte que realiza ambos procesos fotosíntesis y respiración, principalmente reino Plantae, es resultado de la simbiosis y en caso de que los procesos se dieran de forma aislada del medio se hablaría un proceso metabólico interno o bioquímico, pero si se produce un intercambio de materia o energía con el medio ambiente entonces se trata de un proceso biogeoquímico. Por ejemplo, la composición de la atmósfera terrestre es consecuencia directa de los procesos de fotosíntesis y respiración, es decir, el medio ambiente es producto de los seres vivos de acuerdo con Lovelock (1995).

Al estudiar el trabajo de Lovelock se ve rápidamente la compresión química de la vida que presenta la teoría Gaia. Un simple vistazo a la atmósfera de diferentes

⁴En termodinámica existen tres tipos de sistema en función de su relación con la materia y la energía. Un sistema aislado no intercambia materia ni energía, un sistema cerrado intercambia energía pero no materia, y un sistema abierto intercambia energía y materia. Es importante entender que la biosfera puede ser entendida como un sistema cerrado si se considera a la misma parte de la geosfera, pero si se la estudia como sistema propio es un sistema abierto al tener una fuente e energía en el sistema solar y un intercambio de materia con el resto de la geosfera, aunque este intercambio sea lento y de forma limitada. Realmente el debate no tiene mucho sentido, pero es importante conocer esta ambigüedad que lo que deja claro es que el sistema tierra no es un sistema aislado puesto que requiere de un aporte energético externo, el Sol. No hay mejor ejemplo que el proceso fotosíntesis-respiración, donde los productos y reactivos se se transforman de forma infinita, salvo por la necesidad continua de aporte energético.

Tabla 3.1: Composición fisicoquímica atmosférica de la Tierra, Marte, Venus y una hipotética Tierra sin vida descrita por Lovelock.

Gas	Tierra	Marte	Venus	Tierra sin vida
CO ₂	417.80 ppm ^a	95.10 %	96.40 %	98.00 %
N ₂	78.08 %	2.59 %	3.50 %	1.90 %
O ₂	20.95 %	0.16 %	<30 ppm	0
Ar	0.93 %	1.94 %	67.20 ppm	0.10 %
CH ₄	1.87 ppm	0	<2 ppm	0
CO	1803.20 ppb	580 ppm	23 ppm	—
H ₂ O	0—3 % ^b	<0.0005 %	20 ppm	—

^a El valor se corresponde a noviembre de 2022.

^b El vapor de agua no se tiene en cuenta en las medias de atmósfera seca.

planetas se revela como la atmósfera terrestre presenta una composición diferente a planetas sin vida y a una hipotética Tierra sin biosfera (Tabla 3.1).

Se podría plantear qué es la cantidad de energía disponible o exergía es la que condiciona la existencia de la vida, y sí, es una condición, pero no es la única. En el caso de Venus la energía recibida del Sol es mayor, pero esto no implica que a mayor disponibilidad de energía el planeta presente una composición atmosférica más compleja (Tabla 3.1).

El oxígeno es un elemento muy reactivo que salvo que se aporte continuamente a la atmósfera tiende a formar otros elementos más estables, pero precisamente es la continua renovación del oxígeno atmosférico lo que impide que la atmósfera terrestre se encuentre en un estado estacionario como sistema, lo que implica que los seres vivos son esenciales para la regulación redox de la atmósfera (Goldblatt et al. 2006).

Es más, de acuerdo con Kleidon (2021) la vida no solo necesita energía, sino que necesita también un sistema termodinámico activo que permita la transformación de reactivos en productos.

Los datos de la Tabla 3.1 proceden de distintas fuentes en el caso de la Tierra (Cox 1999 p. 258), se consideran los de CO y el valor de CO₂ a partir de «Observations» (2014); para Marte se toman de Trainer et al. (2019); Leovy (2001); para Venus proceden de Johnson y Oliveira (2019); y para la Tierra sin vida de un ejemplo hipotético (Lovelock 1995 p. 23). La estructura de la tabla es la misma del propio Lovelock (1995), pero se han actualizado los datos, puesto que la tabla original data de los años 70.

3.2.2 Entropía

La entropía se relaciona con la complejidad de un sistema, pero es el concepto de negantropía o sintropía introducido como entropía negativa por Schrödinger, es decir, la materia viva conserva la información siempre y cuando tenga un aporte externo de energía, hasta que inevitablemente el organismo no puede disipar más entropía y muere (Schrödinger 1948).

Esta capacidad de disipar entropía se da en todo sistema que no tienda al estado estacionario, dicho de otro modo, el estado estacionario es la configuración de la materia más probable, pero no implica que sea un suceso dado. Este aspecto es importante de entender, puesto que la Historia Natural estudia sucesos ya dados, mientras que con la probabilidad se estudia el estado más verosímil de un sistema (Maturana y Varela 1994).

Por el motivo anterior anterior es tan importante el uso de generalizaciones empíricas en el estudio del medio natural, porque la actividad científica no se trata de predecir el futuro, no somos gürus, sino de describir los hechos acaecidos y describir el mundo que nos rodea y el relato que construimos de ello.

Pongamos el ejemplo de la extinción de los dinosaurios por un meteorito, existen pruebas de que el hecho sucedió, pero la probabilidad de que se diera el suceso no tenía por que ser la mayor (Schwarz 1909). Esto es lo que sucede con la biosfera en relación a la termodinámica, la distancia adecuada a una estrella de tamaño medio, la presencia de organismos fotosintéticos o el mismo proceso de la vida no son una probabilidad sino hechos.

Por otra parte, Lovelock destaca la relación entre el concepto de Shannon de informatividad con el de sintropía de Schrödinger⁵ teniendo ambos conceptos la misma formulación matemática: $1/S$ o inversa de la entropía. Esta relación queda patente en la Genética y en la Bioinformática, puesto que el ácido desoxirribonucleico (ADN) tiene como función molecular el almacenamiento de información para la reproducción de la célula. Una región codificante del ADN presenta una menor entropía o incertidumbre que una región no codificante (Adami 2004).

Realmente los términos “entropía” e “información” aunque esenciales en la ciencia del siglo XXI, y a pesar de estar bien definidos matemáticamente, todavía presenta una gran dificultad a la hora de aplicarlos a una gran cantidad de sistemas. El caso de la Genética es una excepción porque gracias al estudio de la información contenida en el ADN es posible estudiar la termodinámica de

⁵Lovelock atribuye la asociación al propio Schrödinger (Lovelock 1995 p. 38).

los sistemas moleculares constituidos en células (Mayorga et al. 2012). Pero la vida no se reduce a las células, aunque sean la unidad, los “átomos” de la vida, y el desarrollo de una definición de entropía acorde con la Historia Evolutiva es todavía un reto que ha de ser abordado.

Sin embargo, Lovelock aporta una definición entendible aunque muy superficial pero que merece ser recordada como punto de partida para trabajar la entropía en relación a los seres vivos: «Si tu disipación de entropía es igual o superior a tu generación interna de entropía, continúas viviendo y serás capaz de evitar de manera milagrosa e improbable, pero lícita, la segunda ley del universo» (Lovelock 1995).

Cuando dice segunda ley del universo se refiere claramente a la termodinámica como ley universal, pero más importante es cuando usa el término “lícito” puesto que de aquí nace la importancia de tener en cuenta la termodinámica en la búsqueda de una solución al cambio climático y para un entedimiento humano de la biosfera. Que la vida se enfrente lícitamente a las leyes universales es poesía pura, porque tiene que ver con el mito del crecimiento económico infinito, y nuestro intento ilícito de violar las leyes del universo con el único fin de seguir creciendo económicamente, pero esto se abordara en el capítulo de la noosfera (Capítulo 5).

Ante todo la entropía ha de ser tomada como un límite a la disponibilidad de energía y a la complejidad que puede alcanzar un sistema, pues cuanto más complejo es más fácil que un fallo propicie la “muerte” o desestructuración de dicho sistema, a la vez que necesita un mayor aporte de energía por parte del medio (exergía).

En resumen, la probabilidad nos habla de lo esperable o verosímil, pero la vida es un hecho no una probabilidad. Por su parte, la entropía se puede asumir como la tendencia al estado más probable en que podemos encontrar la materia, y la vida intenta continuamente disipar dicha entropía. Quizás predecir o calcular probabilidades en torno a la vida o los seres vivos sea un oxímoron y la tarea siga siendo la que siempre fue, contemplar la naturaleza y entender la evolución de la biosfera en una disipación continua de entropía: una lucha de la vida o una voluntad de poder.

3.3 ¿Qué fue antes el agua o la vida? La importancia de los ciclos biogeoquímicos en la organización de la biosfera

Los antiguos presocráticos especulaban sobre cual o cuales de los cuatro elementos (agua, tierra, aire y fuego) era origen de la vida. Entre los presocráticos una de las primeras explicaciones sobre el origen de la vida fue la de Tales de Mileto, que afirmaba que el agua era el elemento del que ha surgido la vida (Fraile 1997). Aunque si tenemos en cuenta la teoría Gaia, el agua como parte de la biosfera es consecuencia de los seres vivos ¿Cómo el agua puede ser consecuencia y causa de los seres vivos? Porque es un ciclo, el ciclo del agua.

El ciclo del agua es fundamental para la biosfera y por tanto para la actividad humana. Pero en este apartado la cuestión a tratar no es una descripción del ciclo de agua, sino ayudar a comprender mejor la teoría Gaia a partir de como se conservó el agua durante el eón Arcaico. Este ejemplo, realmente abarca más de lo que se puede escribir en unas líneas; por un lado la Historia Natural de los ciclos biogeoquímicos, por otro, los propios fundamentos de la Biogeoquímica como disciplina y todo ello sin olvidar que los ciclos biogeoquímicos han de ser entendidos dentro de la biosfera, como un proceso de autoregulación de los ecosistemas u homeostasis.

Asumir el concepto de entropía como incertidumbre y como la inversa de la información ($1/S$) permite leer el “código” que constituye un sistema, que en el caso que nos compete es el sistema tierra, y su lenguaje es el compuesto por dos ramas de la Química. La Geoquímica o química del medio ambiente y la Bioquímica o química de los seres vivos, que en su conjunto forman una disciplina denominada Biogeoquímica que se encarga del estudio de los ciclos “vitales” del planeta asumiendo que se producen tanto dentro como fuera de los seres vivos.

Actualmente sabemos que el estudio y gestión de estos ciclos es esencial para una correcta gestión ambiental. Normalmente destacan el ciclo del carbono (C), el de oxígeno (O_2) y el del agua (H_2O); por ser esenciales para la vida, a la vez que se relacionan con el calentamiento global (aumento de CO_2), o los regímenes hídricos esenciales para la actividad humana.

Hay que tener en cuenta que existen otros ciclos igual de fundamentales e interrelacionados con los anteriores como pueden ser los ciclos del fósforo (P) y el azufre (S), e incluso algunos menos conocidos pero igual de esenciales como el ciclo del silicio (Si) que es fundamental tanto para la formación de la edafosfera como para la cubierta de sílice de las diatomeas, las grandes productoras de oxígeno (Vernadsky 1998).

En muchas ocasiones Vernadsky es considerado no solo el precursor de un marco teórico para la biosfera, sino también uno de los primeros científicos en desarrollar la Biogeoquímica como una ciencia propia. Desde el principio deja claro que la Biogeoquímica es una ciencia empírica y que la propia humanidad ha modificado la composición química de la superficie terrestre y por tanto modificando la naturaleza del estudio de la propia Biogeoquímica, como puede ser el caso del aumento del aluminio (Al) nativo en la corteza terrestre (Vernadsky 2014b), o de polímeros derivados de los hidrocarburos (Huang et al. 2021).

Puessto que toda ciencia natural estudia cuerpos o fenómenos naturales por eso las generalizaciones empíricas son una metodología adecuada, porque se trata de una aproximación al conocimiento, o *episteme*, a partir de la observación de los cuerpos o fenómenos naturales. En concreto Vernadsky establece que la Biogeoquímica es la ciencia que estudia las transformaciones de materia y energía que se dan entre los cuerpos naturales que forman la biosfera: vivos (biota), los inertes (rocas, minerales...) y los cuerpos bio—innertes (suelo, océano...) (Vernadsky 2014a).

Los ciclos biogeoquímicos, y por tanto la biosfera, son anteriores a que *Homo sapiens* fuera una fuerza propia de la naturaleza, e incluso de que este fuera parte de la biosfera. El estudio de la biosfera como cuerpo natural y de los ciclos biogeoquímicos como transformaciones cíclicas de materia y energía requiere un estudio de la Historia Natural que tenga en cuenta a los seres vivos como creadores del medio natural. Este es el fundamento de la teoría Gaia de Lovelock, a la vez que un paso más en la creación del paradigma de la biosfera y el sistema tierra.

Lovelock lo describe de la siguiente manera:

«Gaia no sólo ha estado viva desde el principio; también ha proporcionado un canal de mensajes químicos libre de ruido sobre aquellos tiempos antiguos... En cada generación se recupera y renueva el mensaje de las especificaciones de la química de la Tierra primitiva» (Lovelock 1995 p. 81).

Cabe apuntar que existe una discusión sobre si la vida surgió en la superficie terrestre o en el fondo oceánico que Lovelock aborda forma indirecta. En el fondo oceánico existen organismos capaces de vivir sin luz solar (Smith 2012), pero la presencia de agua en la tierra esta ligada al hidrógeno atmosférico capturado por los primeros organismos metanógenos.

Entonces, los seres vivos son los responsables de la presencia de agua en el planeta Tierra, por mucho que sean dependiente de este elemento, sin seres vivos no hay agua como demuestra Lovelock en LAS EDADES DE GAIA. En la obra expone como no hubiera sido posible retener el hidrógeno (H_2) generado durante la hidrólisis del ion ferroso de no haber sido por la existencia de los seres vivos (Lovelock 1995 pp. 91-110).

Lovelock, cuestiona la teoría de Berkner y Marshall (1964) haciendo ver la importancia del hidrógeno atmosférico para la presencia de agua, y como este hidrógeno es producido, o al menos mantenido, por la vida. Lovelock alude que pensar en la imposibilidad de la vida en la superficie terrestre antes de la presencia en la atmósfera del oxígeno (O_2) en forma de ozono, O_3 , es erróneo.

El ion ferroso de la corteza terrestre arcaica en contacto con el agua de los océanos primigenios producía una reacción de hidrólisis generando hidrógeno libre capaz de escapar de la atmósfera primigenia terrestre, además esta reacción es espontanea por lo que se da en el medio natural sin la presencia de biota (Sweeton y Baes 1970).

Por otro lado, los procariontes metanógenos ya en el Arcaico eran capaces de captar el hidrógeno en forma de metano mediante una serie de reacciones metabólicas catalizadas por enzimas (Thauer et al. 2008). En otras palabras, sin la presencia de vida en la Tierra los procesos de hidrólisis ferrosa ($Fe^{2+} + H_2O \longrightarrow FeOH^+ + H^+$) de la corteza y el bajo peso molecular del hidrógeno hubieran terminado por dejar la Tierra sin agua. Como se ve en la hidrólisis del ion ferroso se genera H^+ que junto al CO_2 presente en la atmósfera primaria (Tabla 3.1) permitía la recuperación del hidrógeno en forma de agua mediante la metanogénesis $CO_2 + 4 H_2 \longrightarrow CH_4 + 2 H_2O$.

En definitiva, aunque no se puede conocer el origen de la vida por la pérdida de información se puede cuanto mínimo discutir que la vida no surgiese de por si en la superficie terrestre. Hasta la fecha el registro más antiguo sobre la obtención de energía por parte de la vida sigue siendo la fotosíntesis, en concreto por los metabolitos derivados de los carotenos (Vinnichenko et al. 2020).

Como se verá en el siguiente apartado este punto es un pilar de la definición de la biosfera y de la Biogeoquímica como disciplina porque indica que la biosfera se ha ceñido desde un origen al espacio que abarca actualmente y que al igual que a la geosfera, los seres vivos han estado ligados hasta donde se puede saber a la energía procedente del Sol.

Es conveniente destacar la importancia que tiene también esta hipótesis sobre la biogeoquímica arcaica en la Edafología, porque la edafosfera existe y ha sido

parte de la biosfera en todos los periodos geológicos que ha existido la vida encontrándose los cinco factores conformacionales del suelo a lo largo de la Historia Natural, como se ve en la posibilidad de que un suelo arcaico sirviese de protección contra la radiación ultravioleta a los primeros organismos. En la actualidad, no existen muchos estudios, pero si se tiene constancia de que la radiación solar puede penetrar hasta cierto punto en el suelo (Ciani et al. 2005), pudiendo permitir que un suelo arcaico protegiese a la primera biota. Además de proporcionar un sustrato al que adherirse y no quedar a merced de las corrientes de agua.

3.4 Las generalizaciones empíricas de Vernadsky respecto a la biosfera

Vernadsky planteó el estudio de la biosfera mediante generalizaciones empíricas, es decir, estableciendo los límites empíricos infranqueables para la ciencia (Vernadsky 1998 pp. 51-56). La importancia de las generalizaciones empíricas es evitar en la medida de lo posible las representaciones humanas (filosóficas y religiosas) de la naturaleza; por ejemplo, se puede especular sobre el origen de la vida pero la generalización empírica del principio de Redi *Omne vivum ex vivo* nos enseña que lo único que podemos conocer acerca del origen de la vida es que la vida se crea y se recrea a sí misma: autopoiesis (Maturana y Varela 1994).

En concreto en Vernadsky (1998) se recogen en total seis principios obtenidos mediante inducción que no pueden ser sobrepasados por una hipótesis salvo que los hechos demuestren que no son ciertos:

1. No existe ninguna prueba de abiogénesis en ningún periodo geológico del planeta Tierra (principio de Redi).
2. No se ha observado ningún periodo geológico azoico.
3. La vida (biota) actual está conectada genéticamente con toda la vida de la historia terrestre, a la vez que las condiciones ambientales han sido favorables para la existencia de vida en todo este tiempo.
4. La composición química de la materia viva y de la superficie de la corteza terrestre no ha variado de forma significativa durante las épocas geológicas, de igual manera la influencia química de materia viva sobre el medio ambiente tampoco ha variado significativamente.

5. La masa de materia viva ha permanecido prácticamente constante a lo largo de la historia terrestre, existiendo solo indicios de pequeñas variaciones.
6. Prácticamente toda la energía liberada por los organismos vivos proviene de la radiación solar. Los organismos son reguladores intermediarios de la composición química de la corteza terrestre gracias a la energía solar.

La mayoría de estos principios se han mantenido como ciertos y de hecho como se ha expuesto más arriba han sido fundamentales en el desarrollo de la teoría Gaía, pero hay que tener en cuenta que solo son ciertos mientras los hechos los respalden independientemente de lo que la lógica o la deducción puedan decir o afirmar. También puede suceder como es el caso del quinto principio que la controversia sobreviva hasta nuestros tiempos no habiendo un consenso claro sobre si realmente se trata de una generalización empírica, es decir, si los hechos respaldan este principio (Ermakov y Kovalsky 2018).

Destacar, aunque será tratado en el apartado de la noosfera, que el cuarto principio actualmente no se cumple, pero esto es debido a la actividad humana sobre la corteza terrestre que ha modificado significativamente la composición de la misma.

3.5 Resultados análisis bibliométrico (Vernadsky y la biosfera)

El análisis de búsqueda en Scopus sobre el término biosfera en relación a Vernadsky permite ver gran parte de los campos de estudio que representa la interdisciplinariedad, o más bien transdisciplinariedad, que implica la Biodiversidad y la Gestión Ambiental así como el aumento de publicaciones según aumenta la problemática medioambiental (Figuras 3.1 y 3.2). No se ha de olvidar que la existencia de un programa interdisciplinar como es el doctorado en Biodiversidad y Gestión Ambiental es un respuesta a problemas complejos y en concreto es parte de una respuesta mayor a la preocupación por nuestra propia sustentabilidad en el planeta (Knapp et al. 2019).

La biosfera es el término que agrupa al estudio de los seres vivos y el medio ambiente. Sí que hay que aclarar que la aparición del término *suelo* en el análisis, se debe a que Vernadsky es discípulo directo de Dokuchaev, es decir, se trata de un suceso histórico externo y no interno (Vernadsky 2014a). Aunque como ya se ha comentado antes la edafosfera queda contenida dentro de la biosfera.

Vernadsky y Biosfera

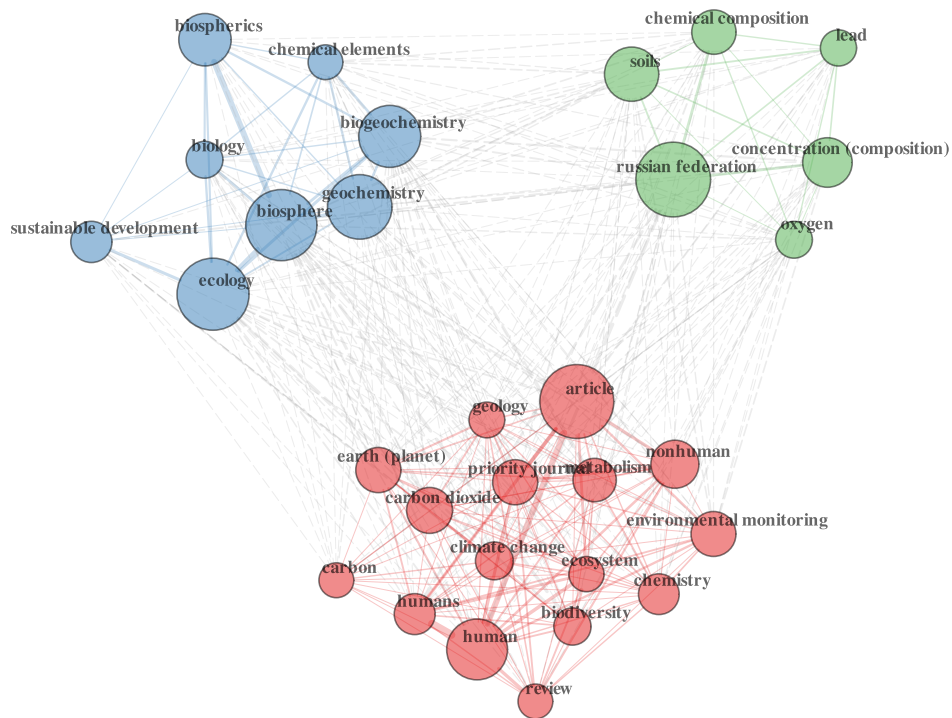


Figura 3.1: Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre Vernadsky (Vernadsky) y biosfera (biosphere) almacenados en Scopus.

Destacar también la aparición de términos estrechamente relacionados como Ecología, Biogeoquímica o Desarrollo Sustentable, tres pilares en el estudio de la Biodiversidad y la Gestión medioambiental. El estudio de nuestra casa (Ecología), el lenguaje de la vida (Biogeoquímica) y la necesidad de adaptarnos a la biosfera (Desarrollo Sustentable) son un excelente resumen de la importancia del estudio de la biosfera que cobra cada vez más importancia en la literatura científica.

3.6 *Daisyworld*: Abordando el problema desde la modelización

La teoría Gaia se sirve como apoyo con la simulación *Mundo de las Margaritas* (*Daisyworld*) que se plantea el concepto de homeostasis planetaria. Una simulación, esencial para el estudio de la biodiversidad, en la que se demuestra la credibilidad de que la biota regule la temperatura de la superficie planetaria: “Cuanto mayor sea la tasa de cambio de la perturbación, mayor será la

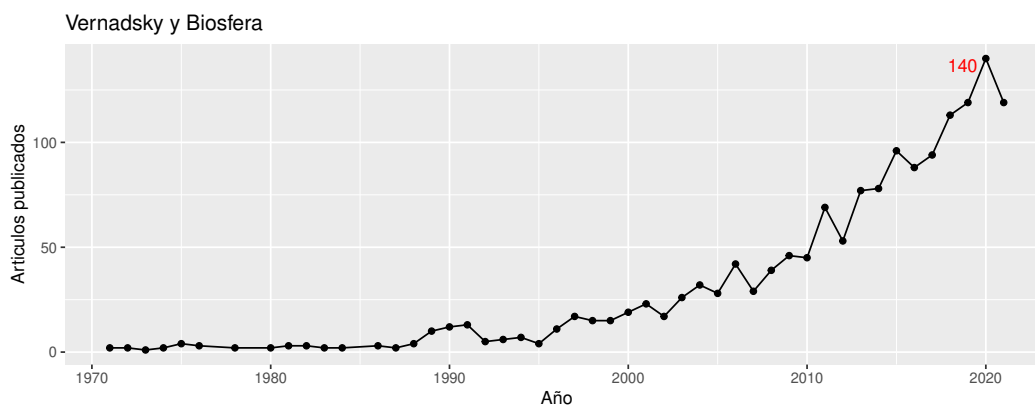


Figura 3.2: Publicaciones por año sobre Vernadsky (Vernadsky) y biosfera (biosphere) almacenadas en Scopus.

biodiversidad resultante”⁶ (Wood et al. 2008).

Ante la cantidad enorme de detractores, Lovelock añadió conejos y zorros al modelo. Los zorros se comen a los conejos y los conejos a las margaritas⁷ y las poblaciones se estabilizan; pero si una población se ve reducida por una causa externa (ambiental) el resto también lo hace.

La biodiversidad es una respuesta planetaria a una perturbación para regular la homeostasis, este concepto está relacionado con el de Selección Natural, que permite ver como ante las desestabilizaciones climáticas y bióticas el planeta responde encontrando un nuevo equilibrio al que ha de adaptarse el conjunto de la biota, pero no mediante la competencia de los organismos sino por otros mecanismo aun por describir (Roberston y Robinson 1998).

Que una metodología basada en la simulación por ordenador sea capaz de respaldar la teoría Gaia es magnífico, pero aún más interesante es que permita cuestionarnos sobre errores históricos en la Biología como es el concepto de competitividad heredado de la Economía. Por desgracia, y a pesar de la gran importancia metodológica, el Mundo de las Margaritas no ha generado un gran impacto todavía en la comunidad científica (Figura 3.3}).

⁶Cita original “*The greater the rate of change of the perturbation, the greater the resultant biodiversity*”. En su versión original se plantea un planeta hipotético habitado tan solo por margaritas negras y blancas. El planeta gira en torno a una estrella que calienta la superficie del planeta. cuanto mayor es la temperatura superficial, mayor es la presencia de margaritas blancas que reflejan la luz solar y mantienen la temperatura estable, y viceversa, cuanto menor es la temperatura, aumenta el número de margaritas negras que permiten conservar el calor.

⁷Se introdujo en el modelo una cadena trófica simple, nada de competencia de especies con condiciones ambientales invariantes e infinitas. «En los años veinte, los biomatemáticos Lotka y Volterra introdujeron su famoso modelo de “competencia” entre los conejos y los zorros. Era un modelo simple, como el mundo de las margaritas, pero difería de este en que el medio ambiente se consideraba infinito y neutral» (Lovelock 1995, p 63).

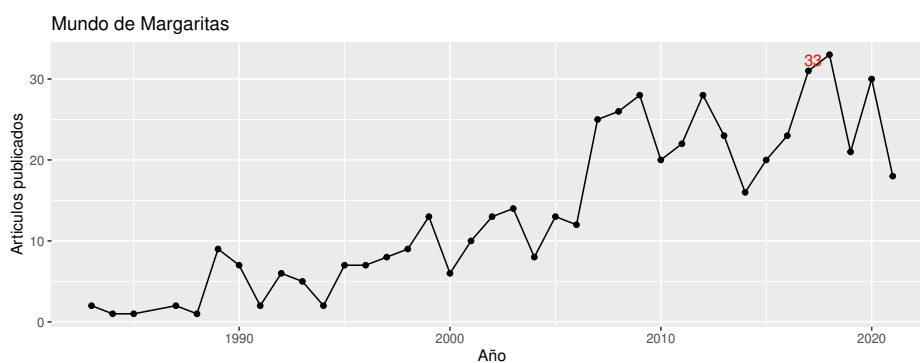


Figura 3.3: Publicaciones por año sobre Mundo de Margaritas (daisyworld) almacenadas en Scopus.

También es destacable que a pesar de haber tenido poco impacto en la comunidad científica, en algún caso como sucede en West et al. (2009) se habla de la importancia de la modelización de escenarios en el cambio climático o la importancia de la biodiversidad para mantener la estabilidad climática o en caso de no ser posible, permitir la adaptación de los ecosistemas a los cambios en el clima. Es decir, una modelización de los cambios en la biodiversidad es fundamental para permitir nuestra adaptación al cambio climático en caso de que este no pueda ser revertido o contenido.

Por otro lado, en el análisis de coocurrencias de palabras se aprecia la importancia de Mundo de las Margaritas en el desarrollo de una metodología coherente dentro de la Biodiversidad y la Gestión Ambiental (Figura 3.4). El cambio climático como perpetuo problema, la biosfera en relación a la Ecología, la importancia en la evolución, pero sobre todo la inclusión de términos como modelo biológico o simulación por computación permite ver la importancia de esta simulación y de la computación en general en la gestión del sistema Tierra.

Además, un término muy característico que se presenta en el análisis de coocurrencia de palabras de Mundo de las Margaritas es entropía. Puesto que una parte fundamental del sistema tierra es estar en consonancia con las leyes de la termodinámica y adaptarlas a modelos biológicos y ecológicos (Kleidon 2009).

Mundo de Margaritas



Figura 3.4: Coourrencias de términos en las Publicaciones sobre Mundo de las Margaritas (daisyworld) almacenados en Scopus.

4. Integración de la edafosfera en la biosfera

«Uno y el mismo conjunto de datos observacionales es compatible con teorías muy distintas y mutuamente inconsistentes.»

—Feyerabend (1991), p.73

4.1 Introducción

El suelo o edafosfera es un sistema que se da en la geosfera y en la biosfera, puesto que todo sistema perteneciente a la biosfera pertenece a la geosfera; pero al ser la biota y el clima factores conformacionales la edafosfera es un subsistema de la biosfera.

La clave en el entendimiento de la edafosfera pasa por asumir que al igual que el resto de la biosfera (Como se ha discutido Capítulo 3), esta esfera se encuentra ligada al papel de la energía del Sol para la transformación de la materia en la corteza terrestre, es decir, el suelo es el producto de alteraciones que no se podrían dar sin energía, pero son los seres vivos y no el Sol en si mismo el vector que realiza los cambios en la materia de la corteza terrestre.

Duchafour plantea que la transformación de la materia en el suelo se puede deber a factores biológicos (bioquímicos) o físico-químicos. Por otro lado, explica varios ciclos biogeoquímicos en los que la biota media directamente extrayendo o añadiendo materia al suelo (Duchaufour y Souchier 1984a, 1984b).

La base para el desarrollo de una edafosfera como esfera contenida en la biosfera parte de aquí, aunque a diferencia de la separación que plantea Duchafour el que define y clasifica los perfiles de suelo. La idea principal de la proposición de la edafosfera como subsistema de la biosfera está en que todo proceso de

transformación que se da en el suelo es parte de un proceso biogeoquímico (Herreño et al. 2023).

Existen un gran número de compuestos arcillo-húmicos, y de transformaciones químicas que pueden darse en un proceso de evolución de un suelo. Desde la lixiviación que mueve de forma descendente hacia capas del subsuelo elementos químicos, hasta las pérdidas ascendentes como puede ser la absorción de nutrientes por parte de las raíces (Duchaufour y Souchier 1984b pp. 72-73).

La definición de todos estos procesos edáficos es fundamental para la comprensión biogeoquímica de la biosfera, pero no son procesos aislados y será importante su reconstrucción en un modelo sobre la edafosfera; pero no será con una taxonomía sino una comprensión de las diferentes actividades y funciones que componen el sistema suelo y su relación con el resto de esferas en la biosfera, así como, el estudio de las esferas contenidas en la edafosfera (Rizosfera y Pedosfera).

Bajo este paradigma de edafosfera se abandona el intento construir una taxonomía debido a dos motivos fundamentales:

1. Se han establecido diferentes clasificaciones a lo largo de la historia de la Edafología, pero no se ha llegado a ningún consenso, es más, las diferentes clasificaciones no nos han ayudado a profundizado más en una definición de suelo de lo que ya lo hizo inicialmente Dokutchayev (1893).
2. Por otro lado, como se verá en el Capítulo 6 la taxonomía biológica está atravesando dificultades para hacer falsables sus hipótesis (Fitzhugh 2016).

De haber una taxonomía de los suelos esta claro que debería que ir en consonancia a la taxonomía biológica porque comparten la misma Historia Natural en los ecosistemas terrestres.

Entonces, ¿qué queda por hacer? Ordenar las piezas de un puzzle regido por la química, que permita entender de manera espacial y temporal las diferentes interacciones entre la biota, el clima y el material parental: queda la Biogeoquímica.

Hay que hacer una *aclaración epistemológica para Edafólogos* antes de proceder con el capítulo aclarar que hay que tener en cuenta el Dadaísmo epistemológico a la hora de juzgar la metodología seguida.

No hay que olvidar que uno de los principales problemas durante el periodo de ciencia normal al que se enfrenta toda investigación es el de estar en conformidad con los paradigmas vigentes, pero cuando las anomalías de importancia no son explicables por el paradigma vigente, el deber de un paradigma alternativo es

responder a esas anomalías y no centrarse en su concordancia con el paradigma vigente.

En Feyerabend (1991) se refuta el siguiente enunciado: «Solo son admisibles (para la explicación y la predicción) en un dominio dado, aquellas teorías que contiene las teorías ya usadas en este dominio o que al menos son consistentes con ellas».

A lo largo del capítulo se pondrá de manifiesto el enfrentamiento entre los paradigmas en Edafología y y como se verá en gran parte del planteamiento no habrá una consistencia en la definición de suelo por parte de ambas disciplinas.

Entiéndase, que debe ser tomado como una oportunidad y un orgullo el contar con dos disciplinas dispares estudiando el mismo cuerpo natural y que toda argumentación en contra de la Pedología será con el fin último de generar una discusión en torno al concepto de suelo y su integración en el medio ambiente, a la vez que se intenta esclarecer en la medida de lo posible las diferencias históricas externas que ha llevado a la existencia de dos disciplinas para el estudio de un sólo cuerpo natural.

4.2 Reconstrucción histórica

El principal punto de partida de esta reconstrucción histórica de la Edafología es un intento de contribuir a elaborar una respuesta a la crisis de salud suelo. Al entender el suelo como un cuerpo natural, y en concreto como un cuerpo bio—inerte dentro de la biosfera, permite establecer una relación entre el medio ambiente, en este caso suelo, y los seres vivos que componen los ecosistemas terrestres. Pero sobre todo, es un ejemplo para explicar la relación entre las ciencias ambientales y las biológicas y la relación entre la degradación del medio ambiente y la pérdida de biodiversidad (Capítulo 3).

La definición de suelo acorde con la biosfera se corresponde con la dada por Dokutchaev que define al suelo como la suma de cinco factores: «el suelo (tipo/normal) es el resultado de la compleja interacción de los siguientes constituyentes —del suelo—: materiales parentales, clima, vegetación y fauna (biota), relieve (espacio), la edad del campo (tiempo) y contorno de la localización (espacio)» (Dokutchaev 1893). Citado en Simonson (1997).

Aclarar que en este momento se podría integrar el contorno de la localización y el relieve en una sola variable que conforman el espacio edáfico quedando la definición de suelo explicada por cinco factores. Sucede igual con la vegetación y la fauna, debido a los avances en el conocimiento en biodiversidad, y más en

concreto en biodiversidad, no se puede hablar de vegetación y fauna, sino que se habla propiamente de biota.

De esta manera, se integran en un solo factor espacial el «relieve» (eje z) y el «contorno de la localización» (ejes x e y) y fue Jenny (1946) el primer trabajo en alcanzar notoriedad en donde los cinco factores del suelo se formulan matemática. Es más, bajo el paradigma actual de la Física, se podría hablar de una variable espacio-temporal, pero lo importante es entender que la definición de Dokutchaev es de finales del siglo XIX, cuando el mecanicismo regía la ciencia, de ahí los términos empleados para definir los factores.

Como se ha señalado la definición de Dokutchaev es recogida en EARLY TEACHING IN USA OF DOKUCHAEV FACTORS OF SOIL FORMATION (Simonson 1997), artículo que reconstruye la enseñanza de la Edafología en la primera mitad del siglo XX. Este factor bibliográfico a tener en cuenta es un ejemplo de la necesidad de contemplar la historia y sus reconstrucciones a la hora de establecer un paradigma como puede ser una definición de suelo.

Este artículo es fundamental en Edafología, no solo porque recupera la definición literal de Dokutchaev y la conecta históricamente con la fórmula de Jenny, sino porque además refleja la pérdida de calidad en la educación científica con el paso del tiempo. Simonson recoge el plan de estudios en ciencias del suelo de Kellogg en 1932, en el que la asignatura ocupaba un semestre por sí sola y comenzaba con un acercamiento al empirismo-lógico de John Stuart Mill para después abordar el estudio del suelo desde los 5 factores. Además en este programa de Kellogg se recoge la formulación más antigua conservada de los cinco factores del suelo (Simonson 1997).

En consonancia con lo anterior remarcar que la primera formulación de los factores del suelo suele ser atribuida a Jenny, pero de acuerdo con Simonson (1997) ya Kellogg la habría propuesto para un curso universitario y por tanto ser incluso anterior. Quizás fuera el propio Dokutchaev quien ya formuló los factores del suelo u otro científico cuyo nombre se ha perdido la historia. En cualquier caso y por no complicar en exceso esta reconstrucción se asumirá que Dokutchaev enunció y Jenny formuló los factores que forman el suelo. Recordemos que la separación entre historia racional e irracional no es sencilla y en muchos casos puede ser una batalla estéril que el principio de *todo vale* nos permite obviar (como se vio en Capítulo 1).

Así pues, asumir una definición de suelo basada en los cinco factores implica la necesidad de una interdisciplinariedad entre Geología, Climatología, Biología, Física Química, Geografía... Un gran número de disciplinas con desarrollos dispares, teorías y metodologías, a veces similares y otras veces

inconmensurables. A la vez, que se hace necesario recordar la importancia de introducir los factores sociales y humanos en la propia investigación.

Una curiosidad sobre la Edafología en relación a la biosfera es que Vernadsky es discípulo directo de Dokutchayev (Vernadsky 2014a). Esto implica que cuanto mínimo Vernadsky era consciente de esta definición de suelo cuando definió la biosfera.

4.2.1 El error histórico de la academia estadounidense: De Merrill a USDA

La definición de Dokutchayev no fue la única definición que se aceptó, en la academia estadounidense también se dio una definición por parte de Merrill donde el suelo es solo la parte inerte siendo un sustrato para la biota (Simonson 1997).

Merrill (1897), p. 3, definió el suelo de la siguiente forma: «En resumen, lo que comúnmente se conoce como suelo no es más que material rocoso desintegrado y más o menos descompuesto, entremezclado, quizás, con materia orgánica procedente de la descomposición de las plantas».

No fue hasta la década de 1940 cuando Jenny conceptualizó la definición de Dokutchayev de suelo mediante una fórmula matemática que la definición de suelo y la Edafología fueron conocidas plenamente en el mundo anglosajón (Jenny 1946). La fórmula se puede resumir como $s = f(cl, o, r, p, t, \dots)$, siendo: *cl*: clima, *o*: organismos, *r*: relieve, *p*: material parental y *t*: tiempo; es decir, la definición de Dokutchayev en lenguaje matemático.

Por otra parte, no está de más recordar que Jenny además de ser el divulgador por excelencia de la Edafología en el mundo anglosajón y haber contribuido con su fórmula a la definición lógico-matemática del suelo como concepto, también ha sido pionero en la introducción del arte en la Edafología. Estudiar la historia del suelo, o de la Edafología es complicado; la dificultad de obtener indicios a partir de restos conservados, y que hablamos de una disciplina con poco más de un siglo de historia, hace muy difícil contrastar cualquier hipótesis en edafogénesis.

Pues bien, Jenny en *THE IMAGE OF SOIL IN THE LANDSCAPE ART, OLD AND NEW* (Jenny 1968) analizó cómo la visión del suelo ha ido cambiando en la historia del arte. Además de enriquecer la Edafología, también se puede afirmar que este estudio es una demostración de la influencia del momento histórico en la definición y visión que se tiene de los objetos de estudio. En resumen, Jenny

también introduce a Kuhn y las revoluciones científicas, aunque no de forma explícita, en la Edafología a través del arte.

Hasta esta fecha la biota había sido excluida sistemáticamente del estudio del suelo, centrándose en el material parental y denominándose la ciencia Pedología¹ y considerando al suelo como objeto de estudio de la Geología.

La Pedología concibe el suelo como la base (*Pedón*) sobre la que se sustenta la biota y durante años las ideas de Merrill dieron sustento a esta visión que reduce el suelo al material parental como se puede ver en *EARLY TEACHING IN USA OF DOKUCHAEV FACTORS OF SOIL FORMATION* (Simonson 1997).

Por su lado en la Edafología al considerar los cinco factores se introduce una metodología que no puede ser reduccionista y que presenta al suelo como una propiedad emergente de dichos factores. Es por ello, que aunque se puedan construir metodologías y aportar datos a ambas ciencias creando un constructo llamado Ciencias del Suelo, la Pedología no puede adaptarse al estudio del cambio climático y mucho menos concebir al suelo como sistema complejo puesto que pretende reducir el suelo al material parental.

La Edafología sí puede abordar la cuestión del suelo en el cambio climático y permite estudiar el suelo en estrecha relación con la biota y la biodiversidad. Es más, la Edafología es un modelo para la integración de las diferentes disciplinas ambientales en la biosfera.

Es verdad que se han propuesto hipótesis *ad hoc* para salvar la visión de Merrill, especialmente se ha intentado sistemáticamente clasificar la diversidad edáfica mediante taxonomías cada vez más disparatadas, en las que uno o varios factores no se tienen en cuenta (Ibáñez et al. 2005, 2012). Pero ¿qué importa la diversidad edáfica o biológica si estas desaparecen?!

Así, el error de base que no puede solucionar la Pedología es la incapacidad de concebir un concepto para el suelo, puesto que construye desde la base que es el material parental al que se le añaden “cosas”.

Es curiosa la evolución de la definición de suelo en la taxonomía de *United States Department of Agriculture* (USDA), en su edición de 1999 reconoce la definición de Dokutchaev, para acto seguido desecharla por “su dificultad”, obviar la Rizosfera por completo y dejar la génesis del suelo como un apoyo en la labor taxonómica (Soil Survey Staff 1999 pp. 6-14). En su revisión de 2014 no solo continúa con el empeño sino que degrada aún más, si cabe, el concepto de suelo; no hace referencia a Dokutchaev, copia la definición de suelo inerte de

¹A día de hoy en inglés el error continúa y muchas veces se denomina *Pedology* a la Edafología (*Edaphology*).

1999 y añade el clima, la biota y el tiempo de forma *ad hoc* (Soil Survey Staff 2014 pp. 1-2).

Nos encontramos ante un paradigma que no es capaz de integrar el clima, la biota y la historia evolutiva del suelo y que con el tiempo ha degradado en un cajón de sastre donde el tiempo en vez de relacionarse con los otros factores (tiempo biológico, geológico y climático²) se toma como corto o largo plazo.

Aunque la Pedología en una fase de decaimiento intente omitir a Dokutchaeff de la definición de suelo se puede observar que el interés por Dokutchaeff, y por ende la Edafología, no ha hecho más que aumentar (Figura 4.1).

Entender el suelo en relación con la biosfera y el planeta Tierra es fundamental para la adaptabilidad del ser humano; el problema es que muchas veces no se tiene en cuenta que la propia Ciencia y el estudio del medio natural no es una cuestión de purificación y reducción de conceptos a a esencias, sino un proceso de adaptabilidad del ser humano como especie.

4.2.2 La historia al otro lado del telón de acero

El acceso a la ciencia realizada en la unión soviética durante la segunda mitad del siglo XX ha sido tan enigmático que gran parte del trabajo realizado se empezó a conocer tras la caída del telón en la década de 1990 (Figura 4.1). El nivel de especulación y de influencia de la historia político-social es tan alto a la hora de reconstruir una historia racional de la Edafología Rusa que en esta memoria será tan solo abordadas ciertas pinceladas a través del artículo METHODOLOGICAL BASES OF MODERN SOVIET SOIL SCIENCE AND ITS FUTURE DEVELOPMENT (Rozanov 1982).

He de reconocer que no he encontrado más casos de artículos que cruzaran la barrera política e idiomática durante la Guerra Fría, pero este artículo es un gran ejemplo de como la ciencia puede saltar una doble censura, y creo firmemente debe ser conservado como una de las obras fundamentales de la Edafología moderna y de la gestión ambiental.

El pensamiento de Rozanov respecto al futuro de la Edafología se puede resumir en tres pilares:

²Se omite el relieve porque al tratarse del espacio conforma un tejido espacio-tiempo, un relieve en un momento histórico, difícil de separar atendiendo a la propia definición del espacio-tiempo en Física.

- La comprensión histórica y metodológica del estudio del suelo.
- El suelo como cuerpo natural y a su vez componente de los ecosistemas de la biosfera.
- El estudio de modelos matemáticos de los procesos del suelo.

En occidente nos asusta pensar que política y ciencia puedan ir de la mano, los científicos de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URRS) no tenían que pensarlo lo vivieron. Es aquí donde el primer sesgo y separación de la Ciencia en bloques se aprecia, y no, no es entre ciencia libre estadounidense y europea, frente a una dictadura que utilizaba la ciencia para fines políticos, que también. Aunque si miramos a “nuestro” lado del telón ¿no sucedía lo mismo?

Cuando el lector se acerca a la ciencia soviética lo primero que se encuentra es un extraño agradecimiento o justificación de las ideas expuestas en la filosofía marxista-leninista e incluso en los tiempos de Stalin había que referenciar sus obras como le sucedió a Oparin (2015)³ que en la introducción de su libro EL ORIGEN DE LA VIDA fue obligado a citar el trabajo de Stalin junto al Darwin como si la aportación de ambos fuera la misma a la cuestión que trata el libro.

En los años 80 cuando Rozanov publicó su artículo, el ambiente era más laxo que en los tiempos de Oparin (la primera edición es de 1938), pero aun así es necesario que el lector que se acerque a la ciencia soviética tenga la mente abierta y no santifique o desacredite el trabajo científico por los hechos históricos irracionales. De lo contrario la Ciencia sufre el riesgo de convertirse en dogmática y es nuestro deber ético impedirlo.

En su trabajo, Rozanov (1982) reconstruye la historia de la Ciencia del Suelo Soviética comenzando por Dokutchaev⁴, establece las bases materialistas de las metodologías empleadas en la URSS y termina con la definición matemática de suelo de Jenny, aunque no cita sus trabajos previos de Jenny (Jenny 1946, 1961).

Pero, independientemente de la historia común de la definición de suelo, Rozanov plantea una distinción histórica entre dos etapas del desarrollo de la Edafología. En un primer estadio el trabajo en Edafología en la URSS consistió en la clasificación de los suelos, para dar lugar posteriormente a una ciencia de gestión del suelo.

³¡A ver quien supera ese indice *h*!, pero mejor no entremos en la obra del camarada Stalin :P

⁴Rozanov escribe Dokutchaev, por lo que la forma sin “t” (Dokuchaev) puede ser una errata de traductores.

Este proceso de transición de la clasificación a la gestión se puede ver en todas las ciencias ambientales en las que la Gestión Ambiental cobra cada día más importancia en el contexto de cambio climático. La gestión del suelo no significa el final de la inventarización, por el contrario la Edafología coexiste en ambos estadios siendo la gestión del suelo el resultado del conocimiento acumulado por la inventariación.

No cabe duda de que esto es aplicable a las Ciencias Ambientales del siglo XXI en las que la necesidad de una Gestión Ambiental integral ha supuesto el entrelazamiento de las diferentes disciplinas, así como, el aumento de modelización y monitización de los cuerpos naturales que componen la biosfera (West et al. 2009).

Una parte fundamental del trabajo de Rozanov es ubicar el suelo en una realidad material, es decir, demostrar la existencia material del suelo. Definir un objeto de estudio no puede reducirse a decir “está ahí”, porque el suelo no siempre ha estado “ahí” como bien señala Jenny en su estudio de los suelos en el arte.

El suelo no ha sido siempre un cuerpo de estudio natural definido, pero tampoco su demostración se reduce a una definición. Por el contrario, el suelo ha de ser definido en multitud de niveles, desde las interacciones atómicas hasta el suelo en su conjunto como cuerpo natural, que Rozanov denomina las series jerárquicas de la organización estructural del suelo.

Pero aquí se puede ir un poco más allá, teniendo en cuenta a Feyerabend, e incluso al propio Vernadsky, podemos definir el suelo en otros ámbitos que no sean el físico-químico. Como el suelo en relación a la cultura humana o el suelo entendido como un medio de producción de alimentos (Dungan et al. 1959, Vernadsky 2014c). De hecho Rozanov denomina a esta aproximación al concepto de suelo como “una aproximación tridimensional”.

Independientemente de la cuestión anterior, Rozanov (1982) en los años ochenta del siglo XX si que vislumbra una definición de suelo como sistema complejo, también recoge la edafosfera⁵ como subsistema de la biosfera, que a su vez recogieron autores anteriores. Además reconoce reconoce dos funciones funciones respecto al suelo:

1. «Proceso continuo de acumulación biogénica, transformación y redistribución de la energía solar que llega a la Tierra.»⁶

⁵La denomina Pedosfera.

⁶Cita original «*continuous process of biogenic accumulation transformation and redistribution of solar energy coming onto Earth.*»

2. «Apoyo a la circulación global de elementos químicos, en particular bioelementos como oxígeno, hidrógeno, carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, cobre, cobalto, yodo, etc»⁷.

Cabe destacar respecto a esta discusión etimológica entre Pedología (Pedón) y Edafología (Edafos) que Rozanov se refiere a la edafosfera como Pedosfera. Aunque considero que es importante para la Edafología, no parece tener importancia esta cuestión etimológica en el desarrollo de la Ciencia del Suelo soviética. En cualquier caso, espero que se tenga en cuenta esta distinción para hacer referencia a dos disciplinas que difieren en la comprensión del suelo como cuerpo natural.

No se puede negar que esta visión de la Edafología está influenciada por Vernadsky y que hace sencilla ver la relación entre la biosfera y el suelo desde la ciencia soviética. Pero es más, Rozanov también comenta la homeostasis de la biosfera, lo que indica que o bien, conocía la joven teoría de Lovelock (el estudio es de 1982) o que se llegó de forma independiente en la Ciencia soviética al concepto de autoregulación de la biosfera.

En referencia a la modelización matemática, Rozanov introduce el concepto de cibernética en el suelo, y no por su relación con la computación, sino porque el suelo se entiende como un sistema complejo y por tanto es un objeto de estudio de la cibernética (Rauta et al. 1988).

Rozanov profundiza en modelización del suelo mediante cambios en la función propuesta por Jenny, es más, utiliza esas funciones para explicar diferentes procesos edafogénicos⁸. Por ejemplo en la formación de los suelos hidromórficos sobre planicies hidroacumulativas lo define como: $S = (P + Ab + Am + Ag), t$; siendo: S : suelo, P : material parental, Ab : acumulación biológica, Am : acumulación mecánica, Ag : acumulación geoquímica actual y t : tiempo de formación del suelo.

La formulación matemática del suelo según recoge el propio Rozanov (1982), aunque la referencia a otro científico soviético llamado Novik, se resumen en entender la modelización del suelo como cualquier función: $outcome = f(entry)$. Hoy nos parece común describir un modelo con entradas y salidas pero hay que tener en cuenta que en 1982 y en disciplinas alejadas de la revolución computacional como la Edafología no estaba tan claro.

⁷Cita original. «*support of global circulation of chemical elements, particularly such biophyles as oxygen, hydrogen, carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur, calcium, magnesium, copper, cobalt, iodine, etc.*»

⁸40 años después la USDA descarta esta forma de clasificar suelos por ser demasiado “compleja”. Poco más que decir al respecto del error histórico.

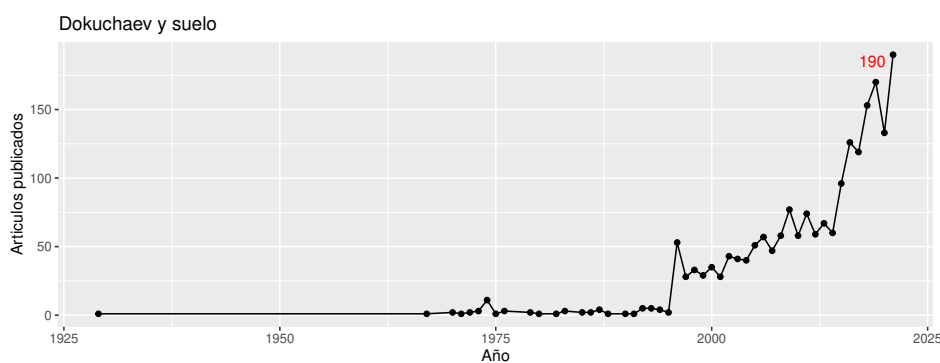


Figura 4.1: Publicaciones por año sobre Dokutchaev (Dokuchaev) y suelo (soil) almacenadas en Scopus.

En definitiva, y aunque la reconstrucción histórica de la Edafología se haya visto afectada por la Guerra Fría, se puede afirmar que las bases del estudio actual de la edafosfera y su integración en la biosfera no es una revolución científica del siglo XXI, por el contrario es el desarrollo de los Planes de Investigación Científica (PICs) iniciados por la Escuela rusa de Dokutchaev en el siglo XIX.

4.3 Dokutchaev y su escuela en el siglo XXI

Los cinco factores y la conceptualización que estableció Dokutchaev del suelo no solo es fundamental en la constitución de la Edafología, sino que es un gran ejemplo de una disciplina multidisciplinar, una metodología holística y un trabajo sin el cual no sería posible la integración de los constituyentes de la biosfera. Es más, puestos a imaginar sin Dokutchaev, quizás Vernadsky, discípulo directo de Dokutchaev, nunca hubiera podido definir la biosfera.

En este último apartado se presenta el resultado del análisis de resultados que consta de dos figuras, una primera con las publicaciones que recogen los términos Dokuchaev y soil (Figura 4.2), y una segunda en la que se presentan las coocurrencias de palabras con ambos términos.

Una vez discutidos de manera breve, pues la idea no es tanto generar una discusión a partir de los resultados, sino observar lo previamente discutido en los resultados, hay un último subapartado en el que se expone un posible perfil de un suelo integrado en la biosfera de Vernadsky y concordante con los cinco factores de Dokutchaev.

4.3.1 Resultados análisis bibliométrico

El análisis de coocurrencias de palabras permite ver que efectivamente los términos relacionados con Dokuchaev y soil se encuentra dividido en dos bloques, uno ruso (izquierda) y otro estadounidense (derecha) es lo que se conoce como Historia externa por parte de Lakatos e Historia irracional por parte de Kuhn (Lakatos et al. 2018) (Figura 4.2).

En Rusia al tratarse de una ciencia ya formada se observa que Dokuchaev se relaciona con propiedades del suelo y su taxonomía (horizontes, perfiles...), aunque también se observa el error de denominar pedogénesis al proceso de edafogénesis en inglés. Además, existe una estrecha relación entre los usos del suelo (land use) la materia orgánica (soil organic matter), y el tipo de suelo conocido como Chernozem (Chernozem) que es rico en materia orgánica y fundamental en la agricultura del este de Europa.

Por su parte, el bloque estadounidense se relaciona con el carbono (carbono), la vegetación (vegetation) y la contaminación del suelo (soil pollution), lo que lleva a pensar en una parte de las Ciencias del Suelo estadounidenses más preocupadas por el medio ambiente que por la producción. Pero por desgracia los nexos son mucho más débiles que en el bloque reflejando el problema de gran parte de la academia estadounidense en acoger la ciencia rusa. Es más, el término buscado es Dokuchaev y no Dokutchaev, es decir que se ha usado la forma del nombre occidental y no la rusa, pero ni aun así es un termino relevante en la academia estadounidense, aunque a nivel global y en especial en la federación rusa (russian federation) la Edafología se está consolidando (Figura 4.2).

De forma independiente a estos bloques existe otro, “un tercer mundo” (arriba en verde), donde aparecen en diferentes análisis bibliográficos y que aparece por el propio algoritmo de las coocurrencias de la palabras como es el caso de artículo, no humano o revista prioritaria (Zhang et al. 2018).

En definitiva es reconfortante ver como el suelo y la escuela que fundó Dokutchaev no solo se ha sido mantenido en el tiempo sino que además se ha extendido. Este punto es muy importante puesto que la degradación del suelo en su relación con la biosfera y la actividad humana es un pilar fundamental en la Edafología (Chertov et al. 2018).

4.3.2 Un ejemplo de perfil del suelo

La relación de la Edafología con otras ciencias se produce puesto que los factores que conformar el suelo son objeto de estudio en otras ciencias. Por ejemplo, el

Dokuchaev y suelo

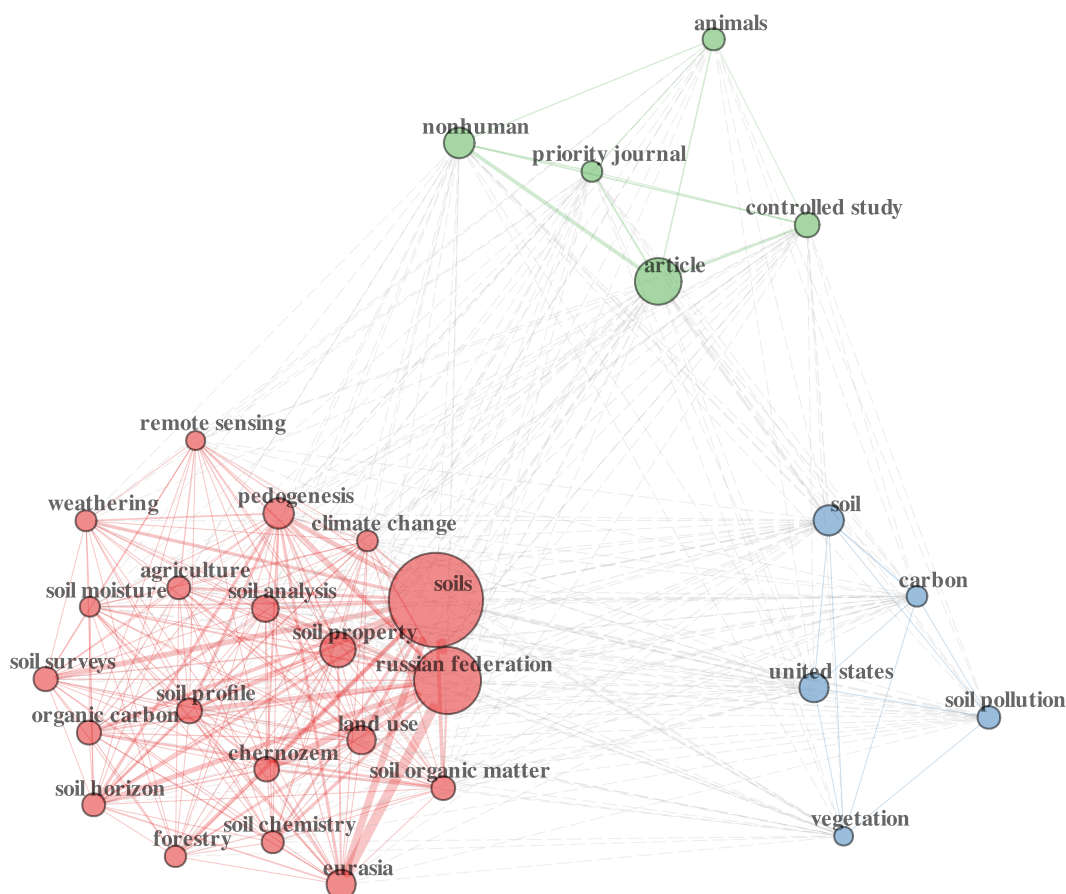


Figura 4.2: Coocurrencias de términos en las Publicaciones sobre Dokutchaeu (Dokuchaev) y suelo (soil) almacenados en Scopus.

estudio de la biota y su relación con el medio ambiente (Ecología) es comparable al estudio de la interacción entre el material parental y la biota en Edafología.

No solo es necesario una serie de similitudes o solapamientos entre disciplinas que llevaría a pensar simplemente cuales son limites entre un campo de estudio y otro. Por el contrario, una serie de teorías han de presentarse concordantes para sustentar la integración de diferentes ciencias en un solo paradigma.

Lo mismo que impide la existencia de las ciencias del suelo, la falta de una teoría consistente que unifique ambas disciplinas, más allá de solo tratar ambas del suelo; sí es posible encontrar teorías consistentes entre la Edafología, y las disciplinas que estudian los factores del suelo (Geología, Biología, Geografía, Química y Física).

Remarcar que uno de los objetivos de esta tesis es la integración de la Edafología

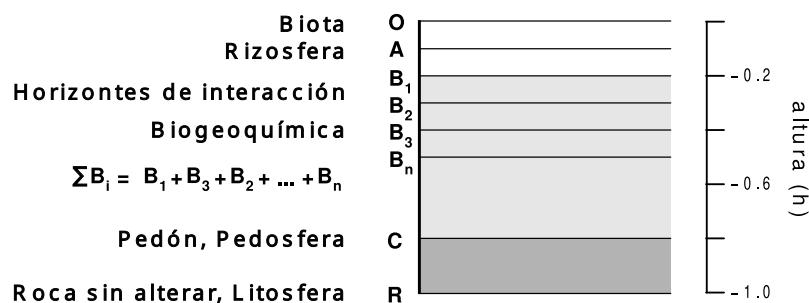


Figura 4.3: Horizontes edáficos generales en la edafosfera.

con el resto de ciencias que estudian la Biodiversidad y el medio ambiente, así como sus interacciones. En concreto las tres teorías presentadas en la introducción explican la existencia del suelo en relación a los cinco factores así como la implicación del suelo como cuerpo natural en la Ecología del planeta Tierra.

Una aproximación a una definición de edafosfera y su integración en la biosfera podría venir dada por una descripción de los perfiles del suelo que como se han visto en la Figura 4.2 es un concepto relevante. Un perfil que reconoce la situación de interfase entre la biosfera y la Litosfera (geosfera, pero no biosfera) ayuda a ubicar el suelo en el sistema tierra (Figura 4.3).

Asumiendo ambos límites para la edafosfera, se crea una sucesión de horizontes en los cuales al aumentar la altura aumenta la influencia de la biota y disminuye al acercarse a la litosfera. La Rizosfera ocupa la parte más superficial de la edafosfera; en esta esfera destaca la importancia de los sistemas radiculares junto al resto de la biota (hongos, bacterias, animales...) que vive en torno a ellos (Lynch et al. 2001). En la parte inferior junto a la Litosfera se encuentra el pedón, que son “rocas secundarias en un estado de incompleta consolidación” (Simonson 1997).

En la Figura 4.3 se refleja como en $h = 0$ el suelo está dominado por el factor biota, el tiempo es biológico (gran movilidad de elementos), se producen descomposiciones orgánicas principalmente y el contacto con la hidrosfera y la atmósfera es continuo. En $h = -1$, por el contrario el material parental apenas se ha degradado y los tiempos son geológicos (cambios lentos y baja movilidad de elementos), la ausencia de biota es casi total, así como, la interacción de la atmósfera y la biosfera. Aun así, existe una relación con la hidrosfera y la atmósfera, de lo contrario ya no sería suelo, sino roca o litosfera.

Entre estos dos extremos se encuentra una sucesión de horizontes ($\sum B_n$) definidos por alguna característica química relevante: acumulación de

sesquióxidos(B_s) de elución (conocido como Horizonte E también), de carbonatos cálcicos secundarios (B_k)... Estos horizontes intermedios se pueden comparar con el funcionamiento de una columna de HPLC, retienen compuestos y dejan pasar otros, siendo puntos de regulación en los ciclos biogeoquímicos. En estos horizontes la interacción de los factores es particular para cada suelo y es quizás el “espacio” más interesante a la hora de estudiar la diversidad edáfica en un equilibrio biogeológico.

Un ejemplo, el horizonte B_h en el que se acumula materia orgánica, si la materia orgánica no puede volver al ciclo del Carbono queda retenida en el suelo y es lo que se conoce como secuestro de carbono (Lal et al. 2015). Otro ejemplo es el ciclo del fósforo, elemento esencial para la vida, que transcurre en parte en la edafosfera y la propia biota del suelo juega un papel fundamental (Filippelli 2002, Liang et al. 2020).

Entender el suelo y su importancia en los ciclos biogeoquímicos es posiblemente la tarea más importante en este momento en la Edafología, como se ha visto la taxonomía actual es bastante deficiente debido a la dificultad de estudiar al suelo como un sistema (edafosfera) dentro de la biosfera; pero si es posible observar multitud de ejemplos en los que el suelo es una parte fundamental de los ciclos biogeoquímicos (Ma et al. 2021, Yu et al. 2021, Schlesinger et al. 2021).

5. La noosfera, más allá de la biosfera

5.1 Lo social y lo natural

La biosfera es el medio con el que nos relacionamos, pero no podemos olvidar que su estudio y el estado actual del medio natural se ha visto influenciado por actividad humana (Maslin 2019), esto quiere decir que el ser humano por si mismo ha transformado la Biosféra y se debate sobre si también ha podido dejar huella en la geosfera, lo que se conoce como Antropoceno (Crutzen 2021).

Todavía es pronto para aseverar que el ser humano se ha convertido en una fuerza geológica, de hecho, es difícil definir con exactitud que es fuerza geología e incluso puede que el concepto tenga un carácter teológico (Bonneuil 2015). Entonces, ¿tiene sentido hablar del ser humano como fuerza geológica? Sí y no, pero no es una pregunta científica sino filosófica y nos habla de un límite de la ciencia a veces obviado: la ciencia es una actividad humana.

Definir la relación ecológica del ser humano, es decir, nuestra propia relación con el medio ambiente, implica pensarnos a nosotros mismos y este es el campo de estudio de las humanidades. El desarrollo de las Ciencias Sociales ha supuesto el uso de metodologías usualmente empleadas por la Ciencia Natural en diversos campos de las humanidades (historia, cultura, lenguaje...), pero también ha servido para repensar la Ciencia, así como, ser conscientes de las influencias que otras actividades humanas tienen sobre la misma.

En Latour y Woolgar (1995) se plantea un estudio de antropología sobre la actividad científica y las conclusiones es que no hay ninguna cualidad que haga superior a la Ciencia Natural frente a otras formas de conocimiento como la Sociología: «La explicación que hemos dado de la construcción de hechos en un laboratorio biológico no es *ni superior ni inferior* a las que producen los propios científicos» (Latour y Woolgar 1995 p. 288).

El problema de entender objetivamente la actividad humana, no radica en calcular la presión que realizamos sobre la biosfera, sino entender como nos

relacionamos con la misma. Si sabemos que la dependencia de los combustibles fósiles plantea ciertos problemas de carácter práctico, como el aumento de CO₂, y teóricos, como la imposibilidad de aumentar la extracción de los mismos de forma infinita en un planeta finito; entonces, el estudio de nuestra relación con el medio es imprescindible. En el paleolítico un cazador debía conocer la ubicación de las fuentes de alimento, pero también, las estaciones climáticas y como adaptarse a ellas; en el neolítico se hizo imprescindible el conocimiento sobre diferentes especies animales y plantas, así como, su domesticación que supuso una modificación de la biodiversidad (*Canis familiaris* LINNAEUS 1758, *Triticum aestivum* L., 1753...) (Peng et al. 2011).

En el siglo XXI algunas técnicas como la modificación genética (GMO) o la disponibilidad de energía en forma de combustibles fósiles ha supuesto una nueva serie de relaciones entre el ser humano y su medio, y esto es lo que lleva a preguntarnos por nuestro impacto sobre el medio natural, a la vez que intentamos adaptarnos a un medio global.

El problema es que ponemos el foco en como nos afecta o afectamos al medio, se calculan huellas de carbono, se censan poblaciones o se protegen especies en peligro de extinción. Pero prácticamente no se tiene en cuenta las creencias o las condiciones históricas que nos han llevado al desarrollo de los conceptos. El flogisto, por ejemplo, no es más real que un ser fantástico de la literatura, pero durante un periodo de la historia fue tomado como una realidad objetiva y una verdad científica (Kuhn 1971).

Un paradigma es abandonado o aceptado por una serie de causas históricas que el científico no puede desdeñar. Pongamos el ejemplo de EL CAPITAL de Marx, en dicha obra se toma «el capital» como un objeto de estudio dentro de la Economía y se eleva al rango de teoría científica. Hoy suena descabellado, pero sin embargo no se duda en hablar de capital natural usándose metodologías basadas en coste/producción. Costanza (1992) define a *Homo sapiens* de la siguiente manera:

«El valor basado en la eficiencia (valor E) se basa en un modelo de comportamiento humano a veces denominado *Homo economius*, según el cual los seres humanos actúan de forma independiente, racional y en su propio interés.»¹

Una suposición como la anterior no tiene ningún sustento científico, pero aun así no se duda de hablar de servicios ecosistémicos como si la relación del ser

¹Cita original: *Efficiency based value (E-value) is based on a model of human behavior sometimes referred to as “Homo economius”— that humans act independently, rationally, and in their own self-interest.*

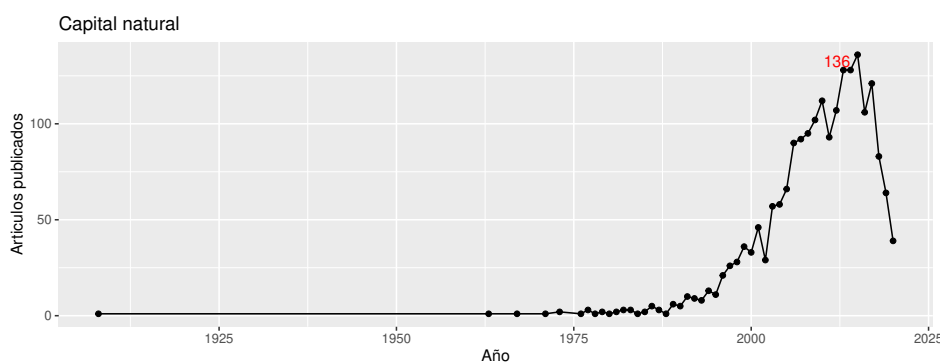


Figura 5.1: Publicaciones por año sobre capital (*capital*) y natural (*natural*) almacenadas en Scopus.

humano con el medio ambiente fuera una relación de coste beneficio; esto ya lo indicó Margulis y Sagan (2003), p.148:

«...términos neodarwinianos tales como “cooperación”, “coste” o “beneficio”, es completamente absurdo y representativo de «la falacia de la concreción mal atribuida»

El uso de términos económicos en la gestión ambiental es un problema añadido que tiene que ver con el propio ámbito humano y la sociología de la ciencia, la superposición del “impacto” a la rigurosidad científica implica que la Ciencia se rija por las leyes del mercado que son ajenas así misma y provoca un aumento de la *quantitas* en detrimento de la *qualitas* mediante un fenómeno conocido como burbuja cuantitativa (Génova et al. 2016).

Puede que una burbuja entorno a los términos «capital» y «natural». Esto se puede deber a diversos factores, pero cabe destacar el periodo entre el final de la Guerra Fría y la crisis del sistema financiera en 2008. Lo que queda claro es que el capital natural como objeto, además híbrido², está perdiendo interés en la comunidad científica.

En la Figura 5.1 se aprecia una posible burbuja a punto de estallar en torno al concepto de capital natural, un concepto que en un principio pudo parecer que guarda relación con la problemática ambiental, pero es un intento de encontrar soluciones sin haber comprendido la problemática.

²El concepto de híbrido es introducido por Latour y significa un objeto de estudio que es natural y social a la vez (Latour 2007). Para Latour la visión «posmoderna» de las ciencias pretendía crear nuevos híbridos sin poder hacerlo, mientras que la visión «moderna» al negar su existencia (dicotomía natural y social) los multiplicaba. Así, esta paradoja se resuelve no pretendiendo superar la modernidad, sino negando que esta sucediese. Esto supone el surgimiento de una visión no-moderna para estudiar las anomalías de la cosmología moderna implicando un gran aporte a la Epistemología desde la Antropología.

Capital natural

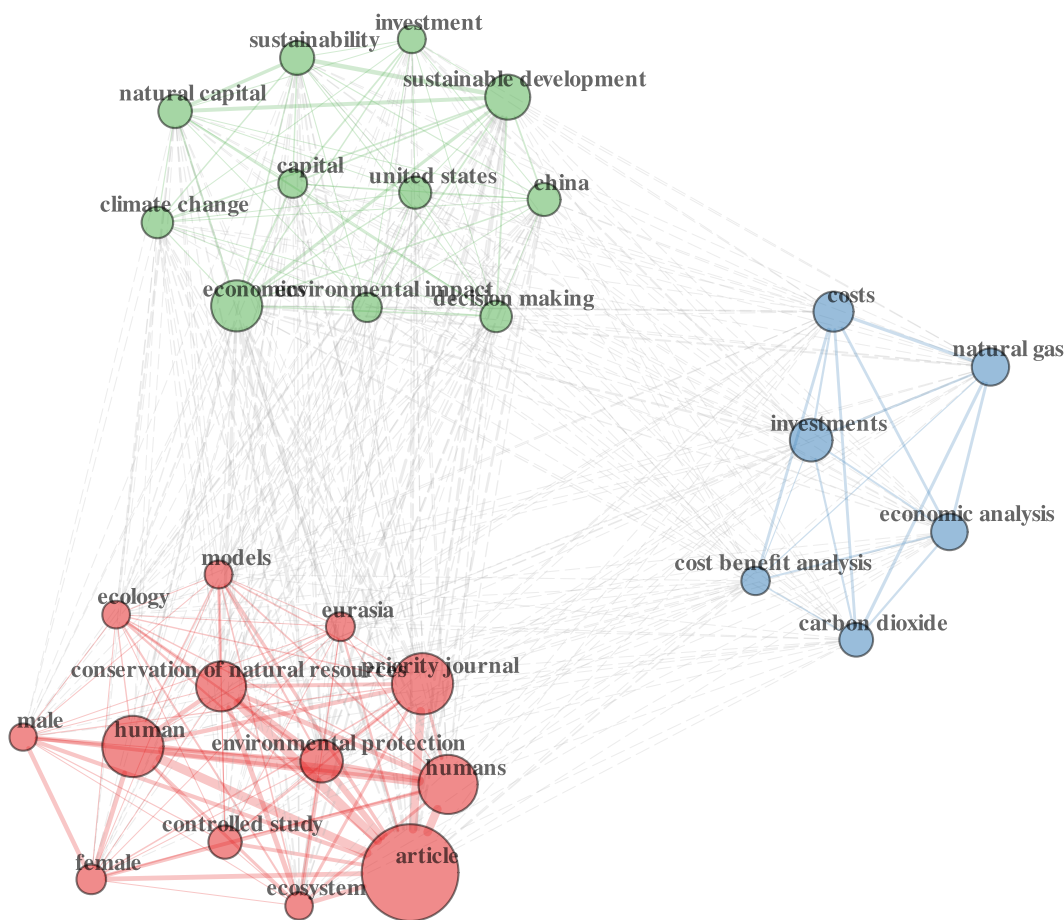


Figura 5.2: Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre capital (capital) y natural (natural) almacenados en Scopus.

En la coocurrencia de palabras (Figura 5.2) se aprecia como en el subbloque verde se relaciona el cambio climático (climate change), el desarrollo sustentable (sustainable development) junto a términos económicos (capital, decision making, investment) con los países de China y Estados Unidos, lo que sugiere que estamos ante un concepto relacionado con una guerra comercial con un gran impacto ambiental (Lu et al. 2020).

En el subbloque azul nos encontramos con análisis de coste beneficio, inversiones, gas natural y dióxido de carbono, pero no es una preocupación por las emisiones sino una forma de negocio o mercado, es decir, el uso de un indicador ambiental usado para esa misma guerra comercial y una forma de imponer el relato económico sobre el relato ecológico (Han et al. 2021, Gürçam 2022). Este fenómeno que en inglés recibe el nombre de *greenwashing* en castellano se puede denominar como “negacionismo” climático.

En el subbloque rojo por el contrario se encuentra la Ecología (*ecology y ecosystems*) en estrecha relación con la protección del medio ambiente (*environmental protection*) y su conservación (*conservation of natural resources*). Pero ¿cómo es posible que los términos ambientales aparezcan por separado de los términos económicos?

Primero existe el problema de la sustitución del lenguaje científico por uno económico que se suma a un problema que está afectando gravemente a la Academia; en donde mediante la burocracia se ha sustituido la docencia por la evaluación; el aprendizaje por la capacitación, y la colaboración por la competición. No es desconocido que la capacidad de concentración ha disminuido abruptamente en los últimos años y que debido a los cambios tecnológicos y sociales, cada vez es más difícil tener tiempo para la reflexión (Fisher 2016 p. 52)

Por lo tanto, en este contexto social hemos de pensar y transformar nuestra relación con la biosfera ¿Estamos entonces en peores condiciones para afrontar retos tan complejos como la Gestión Ambiental? No, simplemente las condiciones son diferentes, porque la hiperconectividad que nos impide desconectar y centrarnos en tareas que requieren concentración, es la misma que permite una Gestión Ambiental global. En concreto en esta memoria se recurre a un método bibliométrico para conocer el estado de diversas cuestiones en la comunidad científica, lo que implica la recopilación y procesamiento de una gran cantidad de información que solo es posible por esa misma hiperconectividad. Es más, la propia digitalización de la educación actual está estrechamente ligada al concepto de desarrollo sustentable (*sustainable development*) (Abad-Segura et al. 2020), también ligado al “capital natural” (Figura 5.2).

El desarrollo sustentable, a veces conocido como desarrollo sostenible es un concepto que atraviesa lo natural y se introduce en lo social, lo que Latour llamaría un híbrido³ (Latour 2007). Por tanto, nos encontramos ante la caída del mito de la modernidad ante nuestros propios ojos.

¿Entonces que sentido tiene un concepto como desarrollo sustentable? Un concepto como el de desarrollo sustentable no encaja en la cosmovisión de la modernidad que bajo el mito de la emancipación de la naturaleza nos ha

³El concepto de híbrido es introducido por Latour y significa un objeto de estudio que es natural y social a la vez (Latour 2007). Para Latour la visión «posmoderna» de las ciencias pretendía crear nuevos híbridos sin poder hacerlo, mientras que la visión «moderna» al negar su existencia (dicotomía natural y social) los multiplicaba. Así, esta paradoja se resuelve no pretendiendo superar la modernidad, sino negando que esta sucediese. Esto supone el surgimiento de una visión no-moderna para estudiar las anomalías de la cosmología moderna implicando un gran aporte a la Epistemología desde la Antropología.

llevado al cambio climático, pero sobre todo a la desconexión entre lo social y lo natural. En un intento de separar la realidad humana de la realidad natural.

Aquí es cuando el dadaísmo nos permite recurrir a la reconstrucción racional de la historia del falsacionismo sofisticado y recordar que el desarrollo sustentable siempre ha estado ligado al ambientalismo y al ecologismo (Pierri 2005). Es el concepto que unifica la Ecología y las Ciencias Ambientales, es el objetivo de la Biodiversidad y Gestión Ambiental como disciplina: sustentarnos como especie en la biosfera.

Por tanto, ¿por qué es necesario una reconstrucción racional (interna) e irracional (externa) de la Biodiversidad y Gestión Ambiental? No hay duda de que la industrialización de los pasados siglos ha supuesto una mejora en el nivel de vida de las personas, pero a la vez es la causante de gran parte de los problemas medioambientales. Una visión economicista de la Naturaleza implica necesariamente agravar las crisis de biodiversidad y la ambiental. El medio natural no es una suma de recursos para nuestro beneficio, no tiene que prestarnos servicios, de hecho es una ilusión de nuestra sociedad el que lo haga y mientras no atendamos a los equilibrios ecológicos desde un punto de vista biológico, es decir, habitabilidad y salud no será posible ninguna solución. Hablar en términos de servicios o capitalización (cuantificación) solo agrava las consecuencias de la crisis, pero no es un problema científico sino social del que la Ciencia como actividad humana forma parte.

En consecuencia, entender nuestras propias creencias, historia irracional, es tan importante como conocer el medio que nos rodea. El caso de *El capital* de Marx que pretende asentar leyes en la Economía como si de leyes de la naturaleza se tratase puede parecer absurdo y que la Economía no ha introducido creencias que no provienen de la observación del medio natural, pero no se puede negar la influencia de Malthus en la obra de Darwin (Girón 2008), es decir, una obra de Economía-Política es base de la teoría darwinista de la evolución. Esto no quiere decir que no sea válida, pero sí implica que el estudio del medio natural se ve influenciado por las ideas y creencias de un determinado periodo histórico, y en concreto de la modernidad.

La Economía-Política no es la única rama del conocimiento que ha influido sobre nuestra visión del mundo natural. No hay que olvidar que el siglo XIX estuvo marcado por un fuerte Empirismo-Lógico como parte de la racionalidad. «Un sistema de principios y conceptos generales, requiere tal sistema de lógica porque se mueve bajo leyes generales que conducen a la racionalidad de lo real» (Marcuse 1993 p. 169).

Estudiar el medio ambiente o su gestión requiere entender que gran parte del cuerpo teórico ahora mismo vigente surge bajo el Empirismo-Lógico, es decir, la validación del cuerpo teórico vigente se ha basado en postulados lógicos contrastables con la realidad. Una realidad que no puede ser explicada por la Cosmología de la modernidad, y mucho menos por la posmodernidad⁴ que pretende crear híbridos de forma artificial (Latour 2007). No, no hemos superado la modernidad, sencillamente nunca fue.

De hecho Karl Popper y el Falsacionismo, paradigma epistemológico que hoy en día todavía se utiliza como metodología válida en algunas ciencias, no rompe con el empirismo-lógico, simplemente asume la realidad como infinita y por ello las teorías tienen que “sobrevivir” el mayor tiempo posible a su contraste con la realidad (Popper 1993).

5.2 Los límites del pensamiento

¿Dónde se encuentran los límites del pensamiento científico? ¿en la imaginación? ¿en la realidad externa? ¿en la utilidad? o ¿en la coherencia interna de un paradigma?

El problema a la hora de lidiar con los límites del pensamiento científico al pretender establecer una teoría científica tiene más que ver con la falta de una pluralidad de corrientes de pensamiento que con el contraste con la realidad, como destaca Feyerabend siempre existe un margen de error a la hora de contrastar un enunciado con la realidad y las teorías universales siempre van más allá de un conjunto de observaciones (Feyerabend 1991 p. 73).

Hay que entender lo siguiente, siempre hay una parte de subjetividad en toda teoría que viene restringida por el propio contexto de la investigación y el científico que la realiza, y pretender eliminar este factor es incurrir en un error metodológico y epistemológico al negar una parte de la realidad. O peor aun pretender alguna clase de separación absoluta entre el sujeto que realiza el estudio y el objeto estudiado.

⁴Poco más que añadir de la incoherencia de los posmodernos que ya fueron desacreditados por Sokal (1996). Ahora bien, la desacreditación o falsación de la superación de la modernidad no demuestra que la modernidad exista. Una cosa es que la gravedad no sea un pensamiento humano, otra muy distinta es pensar que en algún momento podremos contener la “gravedad” en el pensamiento humano. La emancipación de la naturaleza no se ha producido *ergo* la posmodernidad no se da, pero porque la emancipación de la especie humana de la naturaleza, teleología de modernidad, sencillamente no puede darse.

¿Y que pasa con la imaginación? Margulis a la hora de defender la teoría Simbiogénica propone una fusión entre la voluntad de poder de Nietzsche y la selección natural de Darwin, en la que la selección natural no es la causa de la evolución sino que se limita a seleccionar entre la biodiversidad existente siendo la voluntad de poder de la vida la que da como resultado la biodiversidad (Margulis y Sagan 2003 pp. 105-106).

Esta claro que la voluntad de poder no es una generalización empírica y no puede ser contrastada con la realidad, pero no tiene porqué. No se trata de una función mecánica, ni de una medida cuantificable, es una metáfora que nos damos para entender y comprender lo que somos. Según Kuhn la inconmensurabilidad implica que dos teorías utilizan un lenguaje diferente para explicar el mundo, ahora bien, es imprescindible que la metáfora nos permita lidiar de la mejor forma posible con los fenómenos naturales (Kuhn 1993).

Por ello, la imaginación no es un límite del pensamiento científico, por el contrario es una estimulación, pero no puede ser el único criterio de validación porque no habría una distinción entre el estudio de la realidad (Ciencia) y el de la ficción (ciencia ficción).

Si se atiende al caso del cambio climático los objetivos y los medios para alcanzarlos no son claros. Dudar del cambio climático es como dudar de la evolución, los datos y las evidencias apuntan a una variación en el clima, los ecosistemas y la biodiversidad (Bhuiyan et al. 2018, Van Oijen et al. 2018).

Pero los datos han de ser interpretados, y la imaginación es la mejor herramienta (utilidad) que tenemos; por supuesto los resultados del proceso imaginativo contrastado con la realidad debe revisarse con el conocimiento ya establecido, pero este nuevo conocimiento contrastado no es solo juzgado, sino que también es juez del conocimiento previo.

El cambio climático es una metáfora que nos damos para explicar los cambios en la Naturaleza que se están produciendo, pero la interpretación y el significado que le demos está influenciado por la sociedad en que vivimos y por desgracia muchas veces el estudio de la casa (Ecología) se ha visto reducido a su gestión (Economía), sin llegar si quiera a ser una gestión ambiental, pues lo importante es la obtención de recursos, no la conservación de las fuentes de recursos (Shaw y Nerlich 2015).

Términos como “sustentabilidad” (*sustainability*), “justicia social” (*social justice*) o “justicia climática” (*climate justice*) son de vital importancia para atajar el problema del cambio climático (*climate change*), pero tan solo una respuesta humana y ética (*ethics*) es posible ante dichas cuestiones

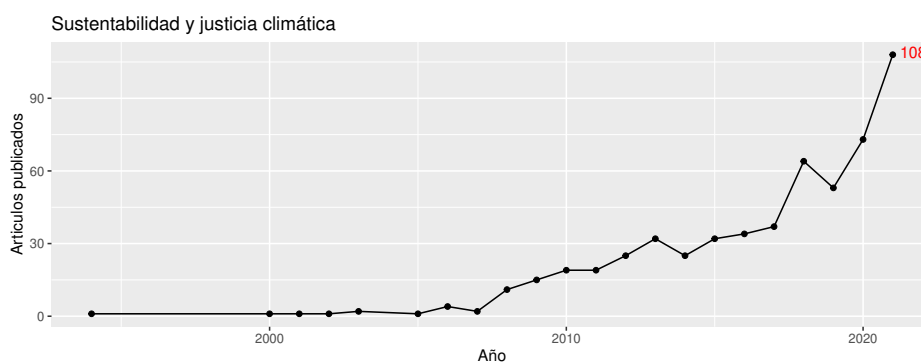


Figura 5.3: Publicaciones por año sobre sobre sustentabilidad (*sustainability*), clima (*climate*) y justicia (*justice*) almacenadas en Scopus.

(Figura 5.4). De hecho el interés por introducir conceptos éticos como justicia (*justice*) o equidad (*equity*) en la Ciencia cobra cada día más interés (Figura 5.3).

5.3 El mito del crecimiento infinito y el decrecimiento como respuesta sensata

La noosfera sucede a un tiempo mucho más rápido que el tiempo biológico o Geológico, es más, esto no se debe solo al propio tiempo biológico de nuestra especie, sino que según la propia época histórica la sucesión de acontecimientos puede verse como más acelerada, como sucede en el momento actual.

La crisis energética o el pico del petróleo (Kerr 2011) están suponiendo un colapso de la civilización global más rápido que los anteriores colapso observados en la historia humana, el proceso se acelera y la respuesta es caótica y desmedida por causas inherentes a nuestras propias creencias que chocan con los límites biofísicos, pero sobre todo de disponibilidad de energía abundante y barata de nuestro tiempo; como destaca Turiel (2020) sobre esta temática: «sin energía no hay actividad económica», es más, nuestra sociedad es dependiente del petróleo y no hay ninguna alternativa viable al mismo, a pesar de que sabemos que altera los ciclos biogeoquímicos del planeta en especial el del carbono.

Centrémonos por un momento en el pico del petróleo que se asienta en el axioma de que no es posible aumentar la extracción de petróleo de forma infinita. En concreto en Deming (2023) que intenta dar por enterrado el concepto con un ataque *ad hominem* hacia Hubbert que fue el que propuso la hipótesis en la década de 1950. En su opinión el pico del petróleo es fruto de un “tecnócrata malthusiano” y peca de ideológico, pero la universidad de Harvard actualmente

Sustentabilidad y justicia climática

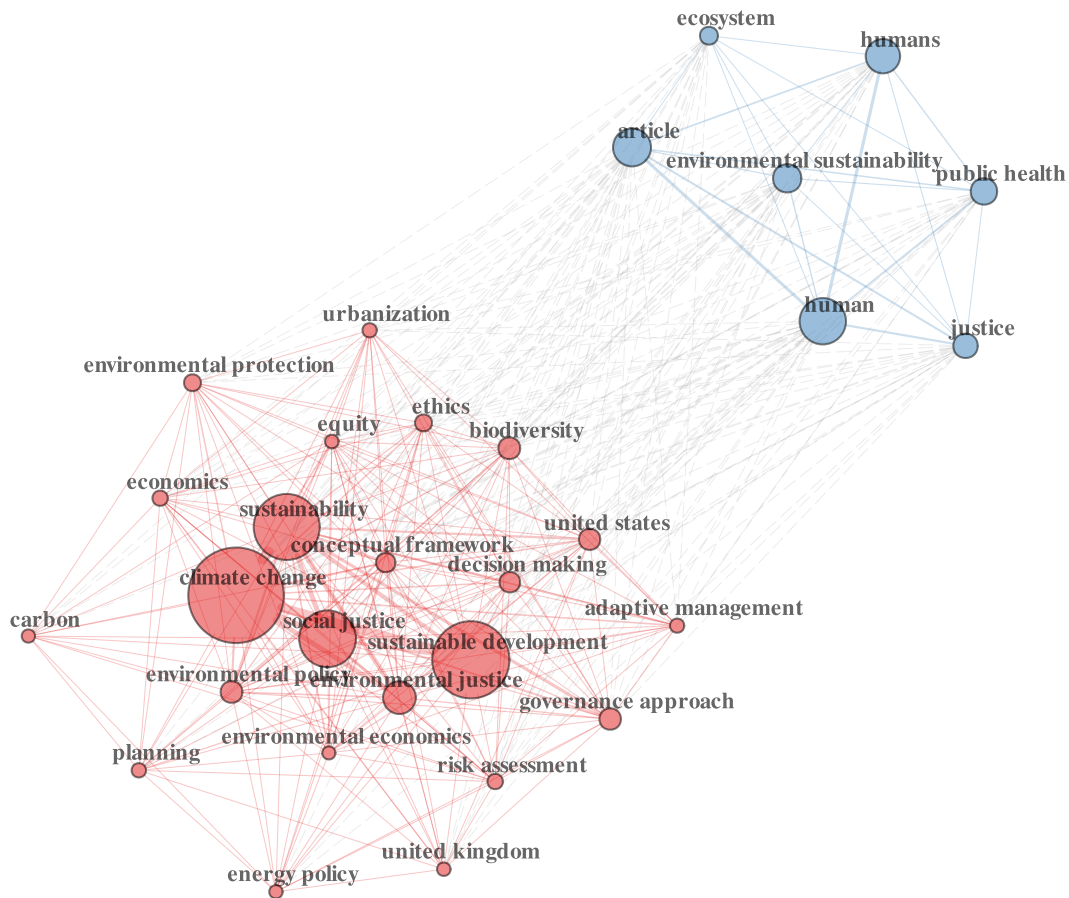


Figura 5.4: Coocurrencias de términos en las Publicaciones sobre sustentabilidad (sustainability), clima (climate) y justicia (justice) almacenados en Scopus.

es un grupo de presión (*lobby*) de las élites económicas estadounidenses (Thelin 2019). Pero aceptemos que Hubbert era un tecnócrata “enemigo” del mercado, ¿y qué? Los “amigos” del mercado también tienen ideología y no debaten con datos y argumentaciones, por el contrario se dedican a descualificar cualquier concepción del mundo no capitalista⁵.

Deming (2023) continúa diciendo que la producción de petróleo en Ohio no solo no ha disminuido en los últimos años, sino por el contrario ha aumentado, y es verdad pero ¿a qué precio? Hay que contar también que la extracción de petróleo ha aumentado por el uso de la técnica de *fracking*, la misma técnica que genera

⁵Cualquier científico o académico que viva de su trabajo tiene derecho a no participar del mercado y a explorar concepciones más allá de las lógicas de acumulación y si encima se observa que estas mismas lógicas causan los problemas medioambientales ¿qué debería de hacer un investigador ético en este campo?

severos problemas ambientales. Debe ser que los “tecnócratas” se niegan a sufrir terremotos o quedarse sin agua potable por el “santo” derecho de los adalides de la libertad de mercado, pero para su desgracia existen estudios que si se preocupan por estos problemas ambientales y sociales (Schultz 2013, Hill y Ma 2021).

Deming (2023) por supuesto pone más ejemplos en los que el pico del petróleo podría haber llegado pero no lo hizo⁶, lo que no cuenta es que esto fue a costa del medio ambiente y de países en vías de desarrollo (Smith-Nonini 2016).

No contento con lo anterior, afirma que la cadena de alimentos global está mejorando y que la contaminación en Estados Unidos ha disminuido⁷. La primera afirmación es otra falacia, porque como bien destaca Sampedro (Sampedro 2011) el hambre en el mundo se podría haber erradicado, pero se optó antes por salvar al sistema financiero que por conseguir este ODS; la segunda afirmación es directamente mentira (Xie et al. 2022), incluso teniendo en cuenta el proceso de desindustrialización y la carga de dicha contaminación sobre países en vías de desarrollo, lo que ha disminuido son las emisiones de CO₂, pero no la contaminación atmosférica. Además EEUU sigue siendo subcampeón en emisión de CO₂ a nivel global del mundo, tan solo superado por China, y no parece que este tomando medidas excesivamente contundentes para remediar este exceso de emisiones (Chen et al. 2023).

Incluso sin tener en cuenta lo anterior el error fundamental de la creencia en el crecimiento infinito que se observa en Deming (2023) es en su interpretación del crecimiento de poblaciones y recursos, es decir, hace una crítica a Malthus pero no acierta en lo criticable, a la vez que asegura que como las predicciones de Hubbert no se han cumplido queda falsado la existencia de un pico máximo del petróleo. Deming (2023) afirma lo siguiente:

«Si la curva puede tener “uno o más máximos”, entonces no tiene un único pico. Si la curva no tiene una forma predeterminada o definible, entonces no se puede hacer ninguna estimación del agotamiento de los recursos, porque no hay forma de saber si a un pico único no le seguirá otro pico *ad infinitum*»⁸.

⁶«President Carter was wrong. World oil production did not peak in the mid-1980s as he predicted. In 1977, total world crude oil production was 21.7 billion bbl.» (Deming 2023 p. 858)

⁷«The world’s food supply is improving. Pollution in the United States has been decreasing» (Deming 2023 p. 856).

⁸Texto original: «If the curve can have “one or more maxima,” then it has no single peak. If the curve has no predetermined or definable shape, then no estimate of resource

Para luego a continuación afirmar lo siguiente sobre el crecimiento de la población:

«Los malthusianos no supieron anticipar y comprender la aparición de la transición demográfica, el descenso de la natalidad que se produce cuando una sociedad pasa de una sociedad rural y agrícola a una civilización urbana, industrializada y tecnológica... Una proyección reciente estimaba que la población mundial no seguirá creciendo sin freno, sino que alcanzará su máximo en el año 2064, con 9\$, \$730 millones, y después empezará a disminuir lentamente»⁹.

Primero, en Höök et al. (2010) se comparan los datos de la producción de petróleo crudo convencional con el modelo de Lotka-Volterra como el pico del petróleo se puede interpretar como una curva de depredación sin reproducción de la presa. El modelo de Lotka-Volterra que como se ha visto es criticado por Lovelock (Capítulo 3) por tener el mismo sesgo de considerar el medio natural como infinito, pues aún así los modelos más simples de Biología de sistemas apoyan la existencia del pico del petróleo.

Segundo, en cuanto al malthusianismo, en este mismo capítulo se ha señalado que la teoría de Malthus es fundamental en el desarrollo de la teoría evolutiva de Darwin, en ningún caso ninguna especie puede crecer de forma infinita, pero tampoco existe un mecanismo biológico interno que limite dicho crecimiento, por el contrario es el medio externo el que limita el crecimiento de la población (Mittelbach y McGill 2019). El error de Malthus es ético, puesto que no duda en que la escasez y el sufrimiento son necesarios para superar la pereza natural del ser humano o condenar a los pobres y hambrientos a la muerte desamparados por la sociedad como forma de justicia divina (Malthus 1990).

Pero, si actuamos como depredadores sobre el medio natural en busca de una cornucopia, pretendiendo que podemos aumentar la extracción de recursos de forma infinita mientras nos desacoplamos de la naturaleza nos acercamos al malthusianismo. Además, si ponemos el foco en el crecimiento de la población,

depletion can be made, because there is no way to know whether a single peak will not be followed by another peak ad infinitum».

⁹Texto original: «*Malthusians failed to anticipate and understand the emergence of the demographic transition, the decline in birth rates that occurs when a society makes the transition from a rural, agricultural society to an urban, industrialized, and technological civilization... A recent projection estimated that the world population will not continue to grow without restraint, but peak in the year 2064 at 9.73 billion and then begin to slowly decline*».

y no en la desadaptación de *Homo sapiens*, que no tiene nada que ver con el disparate del *Homo economicus*, nos acercaremos más a las posturas egoístas de Malthus y en definitiva al ecofascismo (Thomas y Gosink 2021).

También, algo queda claro al analizar las publicaciones de economistas neoliberales como Deming (2023): No es posible tolerar y mucho menos hacer ciencia bajo un paradigma económico que en un delirio pretende contradecir el conocimiento científico más asentado basándose en el mito del progreso o del crecimiento infinito, más aun, cuando tenemos pruebas fehacientes de que los límites planetarios han sido alcanzados y en algunos casos superados (Fischer et al. 2007).

Así, la Economía, en concreto el industrialismo, en un intento de mantener la hegemonía de un sistema de creencias que vive de las glorias del pasado; que en un momento determinado se consiguiese la potabilización del agua gracias a la técnica no ha impedido que esa misma tecnificación haya llevado a hacer el agua de lluvia no potable (Cousins et al. 2022). Detrás de esta y muchas otras problemáticas se esconde el mito del crecimiento infinito que ha intentado readaptarse continuamente hasta incluso hablar de crecimiento sustentable inscrito en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (objetivo 8).

La insensatez y la falta de juicio humano (humanista) ha llegado tan lejos que los ODS son insostenibles, una paradoja que encierra el error sistemático de pretender que el producto interior bruto (PIB) de los países crezca de forma ilimitada, es decir, se busca la consecución de un hecho física, biológica y lógicamente imposible, en consecuencia cualquier planteamiento económico serio debe abandonar la idea de crecimiento del PIB (Kosoy et al. 2012).

La cantidad de publicaciones en Scopus respecto al crecimiento sustentable es inmensa, pero atendiendo a las 2 000 publicaciones con más citas el impacto en la literatura del crecimiento sostenible esta cayendo desde finales de la década pasada (Figura 5.5), esto no quiere decir nada, la idea era errónea desde el principio, no es posible el crecimiento infinito en un planeta finito y menos que sea sustentable cuando se basa en la depreciación de recursos; es más, cuando la crisis energética y climática aumenten su intensidad queda la posibilidad que nos aferremos más a este mito.

Un acercamiento a la coocurrencia de términos en las publicaciones sobre el crecimiento sustentable permite ver la preocupación por la protección medio ambiental (**enviromental protection**), el impacto ambiental (**enviromental impact**), la agricultura (**crops, physiology, biomass y plant growth**) o el suministro de agua (**water supply**), todo ello en estrecha relación con la Economía (**economics**) y el cambio climático (**climate change**) (Figura 5.6).

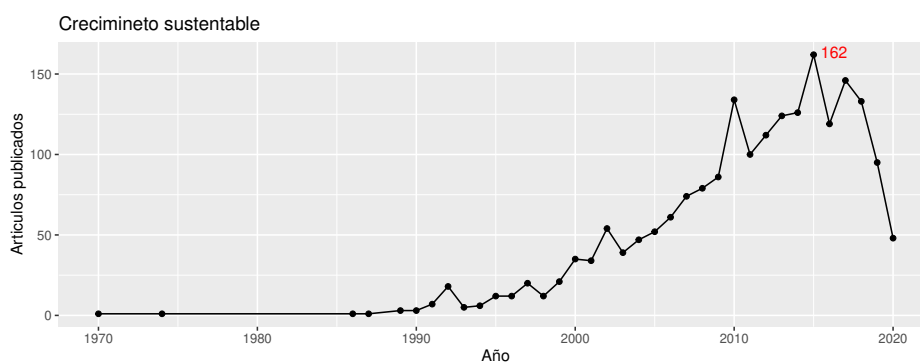


Figura 5.5: Publicaciones por año sobre crecimiento (**growth**) sustentable (**sustainable**) almacenadas en Scopus.

Al fin y al cabo se trata de temas relacionados con la gestión ambiental, pero desde un enfoque completamente errado (económico) que puede llevar a callejones sin salida como cargar las culpas de un sistema económico inviable sobre la población más vulnerable o nuevas formas de malthusianismo, como se ve en los conceptos de crecimiento de población (**population growth**) o desarrollo y envejecimiento (**development and aging**). No hay que olvidar que Malthus se encuentra en la base de gran parte de la teoría evolutiva actual y es una puerta de entrada para ideas políticas que sin base científica justifiquen medidas de control al crecimiento de la población.

Si el crecimiento es inviable, pero, ¿qué teoría económica podría llevarnos a buen puerto en el siglo de las “transiciones”? La respuesta es el decrecimiento, que se está produciendo por colapso, pero podría realizarse de otra manera, de una manera humana donde encontraríamos nuevas formas de vivir y convivir en el planeta sin retroceder a un barbarismo y a un pillaje de recursos; de hecho ya existe una ciencia social estrechamente ligada a la gestión ambiental y sobre todo a la Ecología: la *Economía ecológica* (Hanaček et al. 2020).

El decrecimiento surge de la generalización empírica de la finitud de nuestro planeta, no se opone al crecimiento económico como una ideología, sino que acepta los límites que establece la ciencia en la gestión del medio ambiente; asumiendo entonces que los recursos son limitados y tanto el cuidado del medio ambiente como la justicia en la repartición son cuestiones que atañen a la ciencia en general y a la gestión ambiental en particular.

De forma resumida podemos describir el decrecimiento como la idea que busca adaptar la Economía a los límites planetarios de forma ética. En lo que atañe a la gestión ambiental es imprescindible entender que decrecimiento implica que si un conocimiento científico sobre un daño o un peligro ambiental (contaminación

Crecimiento sustentable

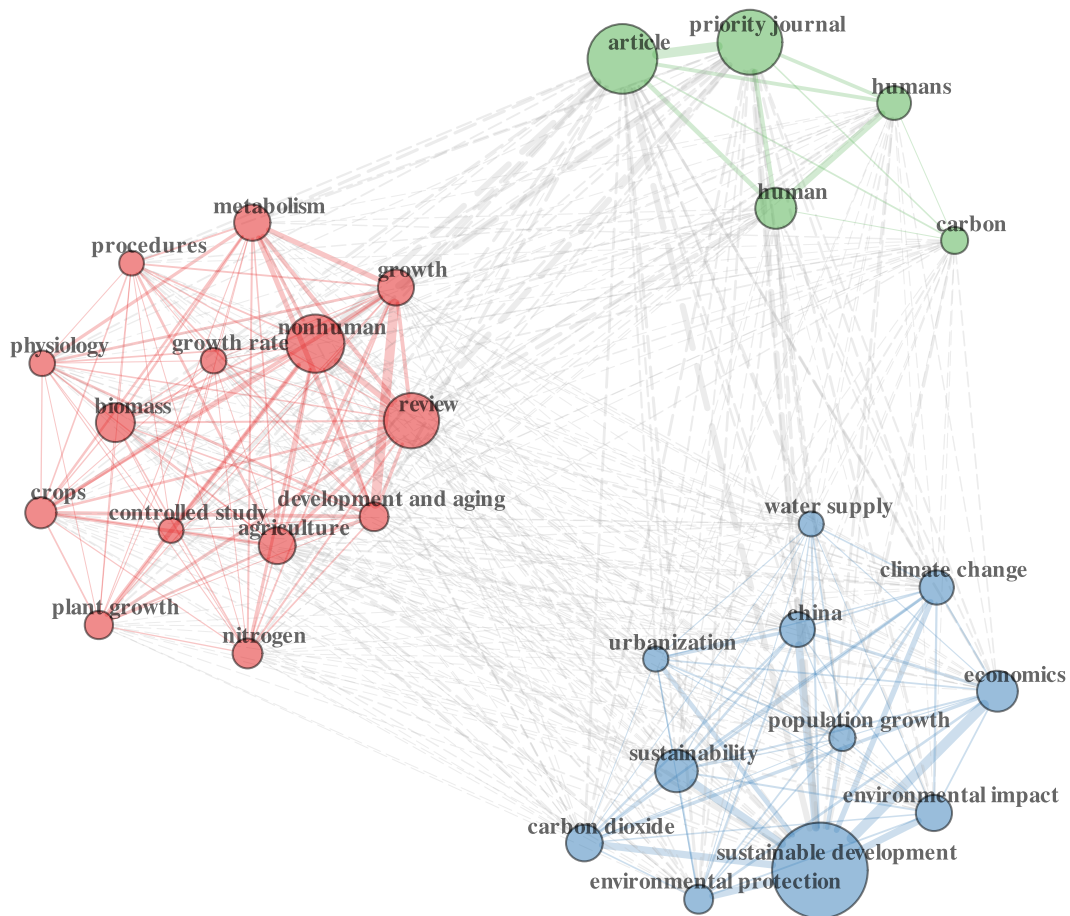


Figura 5.6: Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre crecimiento (growth) sustentable (sustainable) almacenados en Scopus.

mares, deforestación, especies invasoras...) es contrastado ha de asumirse como límite y por tanto no puede ser supeditado a necesidades económicas.

Para evitar malinterpretaciones, no es que los investigadores hayan de regir la política ambiental, las decisiones han de ser tomadas mediante sistemas políticos, no científicos, pero el investigador no puede negarse a sí mismo los postulados y teorías de su propia ciencia de estudio con el fin de garantizar objetivos económicos, como sucede por ejemplo con el lavado verde o *greenwashing* (Yang et al. 2020).

El desarrollo de la teoría del decrecimiento es todavía reciente, de hecho se trata de un paradigma en construcción (Figura 5.7) que se enfrenta a la extrema necesidad de hacer nuestra sociedad sustentable de forma realista sin caer en visiones utópicas irrealizables (Schröder et al. 2019).

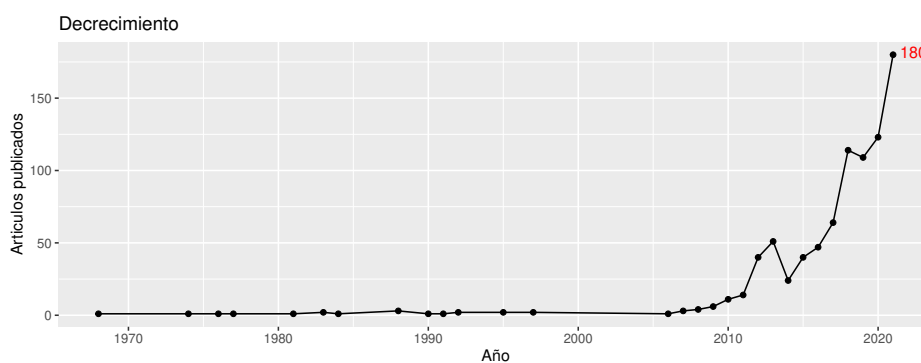


Figura 5.7: Publicaciones por año sobre decrecimiento (*degrowth*) almacenadas en Scopus.

El decrecimiento es la consecuencia de asumir la finitud de los recursos naturales, es una respuesta a un suceso que está sucediendo, el fin del crecimiento infinito, que no implica solo el haber alcanzado los límites planetarios, sino también el despertar de un sueño llamado progreso. En Kallis et al. (2018) se realiza una buena revisión sobre el desarrollo teórico del decrecimiento en contraposición al crecimiento, el mito del progreso, los límites del crecimiento, la importancia de campos como la Antropología o la Sociología para encontrar soluciones alejadas del crecimiento, entre otras cuestiones que atañen al problema del crecimiento infinito en un planeta finito.

Aunque todavía queda mucho trabajo para llegar a un paradigma decrecentista viable, queda claro que el estudio del medio natural invalida el núcleo firme del crecimiento infinito, por ello y a pesar que el debate sigue vivo entre crecimiento y decrecimiento, nuevos términos empiezan a tomar fuerza como “justicia ambiental” (*environmental justice*) o “economía ecológica” (*ecological economics*), y por supuesto se pone de manifiesto la estrecha relación entre capitalismo (*capitalism*) y cambio climático (*climate change*) (Figura 5.7).

No se puede pasar por alto la presencia de desarrollo sustentable en gran parte de los análisis de coocurrencia realizados Figuras 3.1, 5.3, 5.6 y 5.8, hay que tener claro que el desarrollo sustentable es importante, pero no puede estar ligado al crecimiento económico, como sucede en los ODS, pues el crecimiento infinito no es sustentable.

Un pequeño tributo final a V. Vernadsky

De vuelta al concepto de noosfera, Vernadsky cuando propuso el concepto tan solo vislumbraba los efectos humanos sobre la biosfera y reducía el concepto a un asombro por la transformación que hemos realizado en los últimos siglos de

Decrecimiento

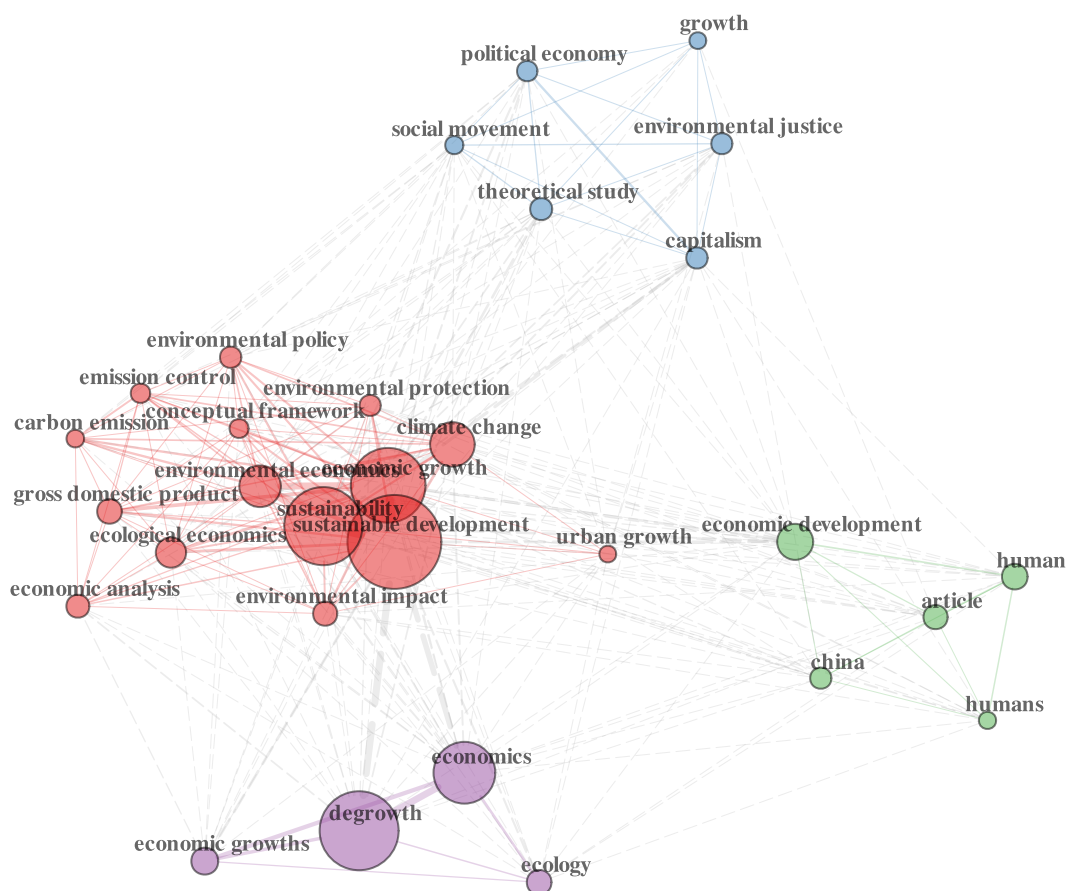


Figura 5.8: Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre decrecimiento (degrowth) almacenados en Scopus.

la composición química de la corteza terrestre, como por ejemplo el aumento de aluminio nativo que previo a la presencia del ser humano era residual (Vernadsky 2014b).

Aunque nunca estableció una definición clara para la noosfera, pues se trata de un concepto desarrollado en los últimos años de su vida Vernadsky si que dio una primera definición que invita que repensemos la biosfera desde un punto de vista humano, Vernadsky (2014b), p. 83:

«Se plantea el problema de la reconstrucción de la biosfera en interés de la humanidad libremente pensante como una totalidad única. Este nuevo estado de la biosfera, al que nos acercamos sin darnos cuenta, es la noösfera»¹⁰.

¹⁰Cita original: «*There arises the problem of the reconstruction of the biosphere in the interests of freely thinking humanity as a single totality. This new state of the biosphere,*

En definitiva, repensar nuestra relación con el medio ambiente implica pensar que mundo queremos y tan solo los humanos podemos responder a esa pregunta, independientemente de las técnicas o herramientas de las que dispongamos nuestra autoconcepción en la biosfera es únicamente nuestra y hemos de decir como queremos que sea. Hemos de adaptarnos a los límites del planeta, pero ha de ser de una forma justa, humana y civilizada.

which we approach without our noticing, is the noösphere.»

6. Teoría Simbiogenética: entender la evolución y la biodiversidad a través de la Ecología

«Esta evolución requiere nuevos procesos de pensamiento, hacen falta nuevas metáforas que reflexionen sobre las asociaciones permanentes».

— Margulis y Sagan (2003), p. 40

Cuando realizaba mis estudios de Máster en la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) tuve la fortuna de encontrarme con la obra de Margulis mientras estaba estudiando un campo de la Ecología minoritario pero de vital importancia para entender la biodiversidad de nuestro planeta: los hongos endófitos.

Un simple microscopio junto a una lectura sosegada sobre Ecología, Citología y Metabólmica del reino *Fungi* me permitieron reflexionar sobre gran parte de los conceptos de Biología que había estudiado hasta este momento, sobre todo lo relacionado con Genética y Evolución, carecían de rigurosidad científica e incluso eran conceptos más intencionados en objetivos económicos que en ecológicos (*barcoding*, patentes genéticas, zoocentrismo...).

El primer problema cuando se pretende explicar la evolución desde un punto de vista simbiogenético es la reticencia a entender por parte de la comunidad científica que los animales no son el *summum* de la evolución. En Biología Evolutiva se ha entendiendo la prioridad al revés, el ser humano y los mamíferos no son ejemplos validos para explicar la evolución. Así nos encontramos, que la simbiosis, *a priori*¹, no explica la evolución dentro del reino Animalia pero sí al resto de reinos Eucariontes, mientras que la teoría sintética de la evolución no

¹En el ideario colectivo (científico) sigue extendida la noción de individuo asociada al conjunto de células somáticas que comparten el mismo material genético, pero esta apreciación ha de tomarse con toda la relatividad posible, pues el estudio de los microbiomas animales está cambiando la concepción de individuo biológico a gran velocidad.

puede prácticamente explicar más allá de los animales, sin embargo este último paradigma (teoría sintética) sea el vigente es de extrema preocupación para el estudio y la conservación de la biodiversidad.

Es verdad que en los últimos años el estudio de la microbiota de los animales ha supuesto un revulsivo para la aceptación de la simbiogénesis en Zoología, como sucede en el caso de las termitas cultivadoras de hongos y su compleja relación con su microbiota digestiva (Schmidt et al. 2022), o la aceptación y definición de órganos simbióticos tanto en plantas como en animales (Fronk y Sachs 2022). Pero en la opinión defendida en esta memoria, lo importante no es que la simbiogénesis explique hechos, que también, sino que nos permita repensar la biodiversidad y encontrar una concepción de los seres vivos en su comunidad y en su medio para nuestra propia adaptación como especie biológica.

En el capítulo anterior, se ha abordado el papel de la ciencia como actividad social dentro de la biosfera, como parte fundamental de la noosfera y se ha puesto de manifiesto el terrible error de definir a *Homo sapiens* de cualquier otra forma que no sea dentro de la biodiversidad. En este capítulo se abordará una perspectiva derivada de lo anterior, no se trata de ver que nos diferencia del resto de la biodiversidad sino de ver que compartimos con la misma y que nos une al resto de seres vivos, un mismo espacio nos une sí (biosfera), pero también la función de relación que como se defiende en esta memoria es fundamental en la variación genética y en definitiva en la evolución.

6.1 El origen de la vida como cuestión científica

Antes de comenzar una discusión seria sobre teoría evolutiva es necesario aclarar ciertos componentes sociales e históricos para entender lo dañino que es aceptar la teoría sintética de la evolución sin discusión, tanto para la Biosfera, como para el propio ser humano. La teoría sintética asume el lenguaje económico y eleva la competencia a la lucha por la existencia, a pesar de que Kropotkin ya aclaró que la lucha por la supervivencia es contra el medio hostil, y no entre los individuos que conforman una especie (Kropotkin 2005).

¿Cuándo comenzó la vida? ¿La vida se transforma o ha permanecido estable a lo largo de la historia? Son preguntas que han acompañado a la humanidad gran parte de la historia, hasta el punto que en la filosofía aristotélica ya planteaba estas cuestiones (Henry 2006).

En resumen, la vida siempre ha sido objeto de estudio de la humanidad y ha tenido tantas interpretaciones como culturas y épocas ha habido la historia de

nuestra especie siendo esta capacidad de interpretar el mundo clave para nuestra supervivencia y adaptabilidad (Burke et al. 2021).

Otro tipo de preguntas más ligadas a un lenguaje científico sigue intentando establecer un relato de la vida ¿Es la vida una fuerza universal? ¿Qué separa la materia inerte de la materia viva?

Esta primera pregunta es planteada por Vernadsky, el cual atribuye a la vida el estatus de fuerza cósmica, un “vocablo” algo rebuscado pero que podría interpretarse como una fuerza fundamental en el mundo físico, como sería la gravedad o el electromagnetismo, pues presenta una diferencia cualitativa que no puede ser reducida a otras propiedades físicas, a pesar de solo conocerse materia vida en el planeta Tierra.

La segunda es una cuestión fundamental en la Biología sobre la que se ha trabajado largo tiempo en la ciencia. Desde los experimentos empíricos de Pausteur que desmienten la abiogénesis, pasando por la sopa primigenia de Miller, hasta los trabajos de Oparin sobre el origen de la vida centrados en entender el origen de la vida como la aparición del medio interno claramente diferenciado del medio ambiente (Oparin 2015). Todos estos trabajos son grandes hitos de la Biología, pero no han podido desmentir el principio de Redi (*Omne vivum ex vivo*).

A pesar de todo los intentos para comprender el origen de la vida la reconstrucción racional de la historia de la vida o la historia de la Tierra, puesto que no se conoce vida en otro lugar del universo, se tropieza con el principio de Redi, uno de los pilares de la Biología, tan importante como la Selección Natural de Darwin pero muchas veces olvidado. Empíricamente no se puede demostrar el origen de la vida; no es que no exista un origen o que sí exista, lógicamente ha de existir, pero empíricamente con el conocimiento actual el origen de la vida no es falsable, porque no se puede observar ni hallar indicios.

Sabemos que la reconstrucción de la historia terrestre es más difícil cuanto más nos alejamos del presente hasta el punto que debido a las transformaciones en la corteza terrestre a través de eones no ha sido posible encontrar ningún rastro del Eón Hádico salvo una serie circonios que aún generan gran controversia en cuento a su origen (Stevenson 1983, Perkins 2009, Mueller y Nutman 2017), y además con los registros fósiles nos encontramos en la misma situación.

Por tanto, no es posible conocer cual fue el último antepasado común universal, LUCA por sus siglas en inglés (*last universal common ancestor*), aunque algunos pretendan encontrar vida en el Eón Hádico o en Marte (Harrison y Bell 2020). Las probabilidades de encontrar evidencias de algo parecido a un LUCA son tan

bajas que hace muy difícil falsar su existencia, salvo que se de un suceso de muy baja probabilidad, y si una hipótesis no posee un respaldo mínimo de evidencias empíricas no es falsable.

De hecho, la definición de LUCA no se ha podido establecer aún, se discute sobre cuales son los procesos fisiológicos y los genes más antiguos que podrían llevar a indicios de la existencia del LUCA. Pero algo está claro, la historia genética es un “cuadro” basado en convergencias y divergencias que dificulta su reconstrucción (Martin et al. 2016).

El problema de LUCA surge en la teoría sintética de la evolución por la necesidad de reconstruir una historia genética lineal y gradual basada en mutaciones aleatorias, pero sobre todo en presuponer, de forma maniquea, que el material genético, moléculas formadas por nucleótidos, ha permanecido aislado del medio a lo largo de la historia, despreciando la importancia de la simbiosis en la evolución; pero los defensores de la teoría sintética no dudan en realizar transmisiones horizontales de material genético a través de vectores procariontes como *Agrobacterium tumefaciens* en sus laboratorios (Dalla Costa et al. 2022).

La transmisión genética horizontal está demostrada, se demuestra empíricamente diariamente en laboratorios de todo el mundo de forma rutinaria, el origen simbiogenético de las células eucariontes también está bien demostrado (Sagan 1967). Entonces, ¿por qué la filogenia, y en especial la filogenética, no contempla las transmisiones genéticas horizontales en la historia evolutiva?

Es en la propia representación la representación filogénica donde se observa bien este problema, los cladogramas o dendogramas no permiten ver la transmisión genética horizontal. Los dendogramas son un tipo de representación de datos que agrupa las observaciones por proximidad y jerarquía conocido como agrupamiento jerárquico (Johnson 1967).

Esta representación asume que una determinada diferencia en las bases nitrogenadas marca los límites entre los grupos que a su vez forman grupos más grandes hasta llegar al conjunto total. Este tipo de representación por razones obvias es muy común en la filogenia, bajo el paradigma de la teoría sintética, que representa la vida como un árbol (*déndron*), pero este tipo de diagrama no contempla la transmisión genética horizontal (Margulis 2009).

Por el contrario, Margulis en CAPTANDO GENOMAS (Margulis y Sagan 2003) propone una serie de diagramas basados en anastomosis, líneas evolutivas que se juntan y separan continuamente, el problema es que el termino es puramente biológico y no tiene un equivalente claro en representación de datos, lo que sí

está claro es que una representación acorde con la simbiogénesis requiere, la posibilidad de crear nodos que converjan y diverjan (Figura 6.1).

6.2 La falacia del gradualismo: El equilibrio puntuado (EP) desacreditó al Neodarwinismo

No es que la evolución no sea lineal, sino que además no es gradual. En teoría evolutiva existe un problema muy serio en torno a la figura de Charles Darwin, si algo es “darwiniano” es verdad, sino es mentira, pero, ¿Qué quiere decir darwiniano? y ¿cómo una teoría del siglo XIX puede tomarse fuera de su contexto histórico?

Denorminar Neodarwinismo a la Teoría Síntética no es solo un error sino un *falacia ad verecundiam* que ya indica el poco valor científico de dicha teoría, no puede añadirse el mutacionismo sobre la selección natural y suponer que como la segunda es cierta, la otra lo es porque sí. Peor aún peor, se ha tildado en ciertas ocasiones a la Teoría Simbiogénica de anti-darwinista, recurriendo al mismo tipo de falacia (Margulis y Sagan 2003 p. 31).

Independientemente de que la Selección Natural es parte de la evolución, pues selecciona aquellos organismos que sobreviven para dejar descendencia fértil, también se ha demostrado que la evolución no es gradual, por el contrario, de acuerdo con el registro fósil una especie permanece estable durante largos periodos de tiempo hasta que en un periodo breve de tiempo se producen cambios significativos y se da el proceso de especiación. Es decir, que se producen saltos evolutivos en momentos históricos concretos, y esto se conoce como Teoría del equilibrio puntuado. Esta teoría fue propuesta en Gould y Eldredge (1972) y afirma lo siguiente:

«La norma para una especie o, por extensión, para una comunidad es la estabilidad. La especiación es un acontecimiento raro y difícil que marca un sistema en equilibrio homeostático»².

El problema con el gradualismo no es que sea erróneo, simplemente era una hipótesis acorde a su tiempo que hoy en día el registro fósil no respalda, no porque se hayan encontrado pruebas a favor o en contra sino porque encontrar pruebas a favor es tan difícil que no es falsable.

²Cita Original:«*The norm for a species or, by extension, a community is stability. Speciation is rare and difficult event that punctuates a system in homeostatic equilibrium*».

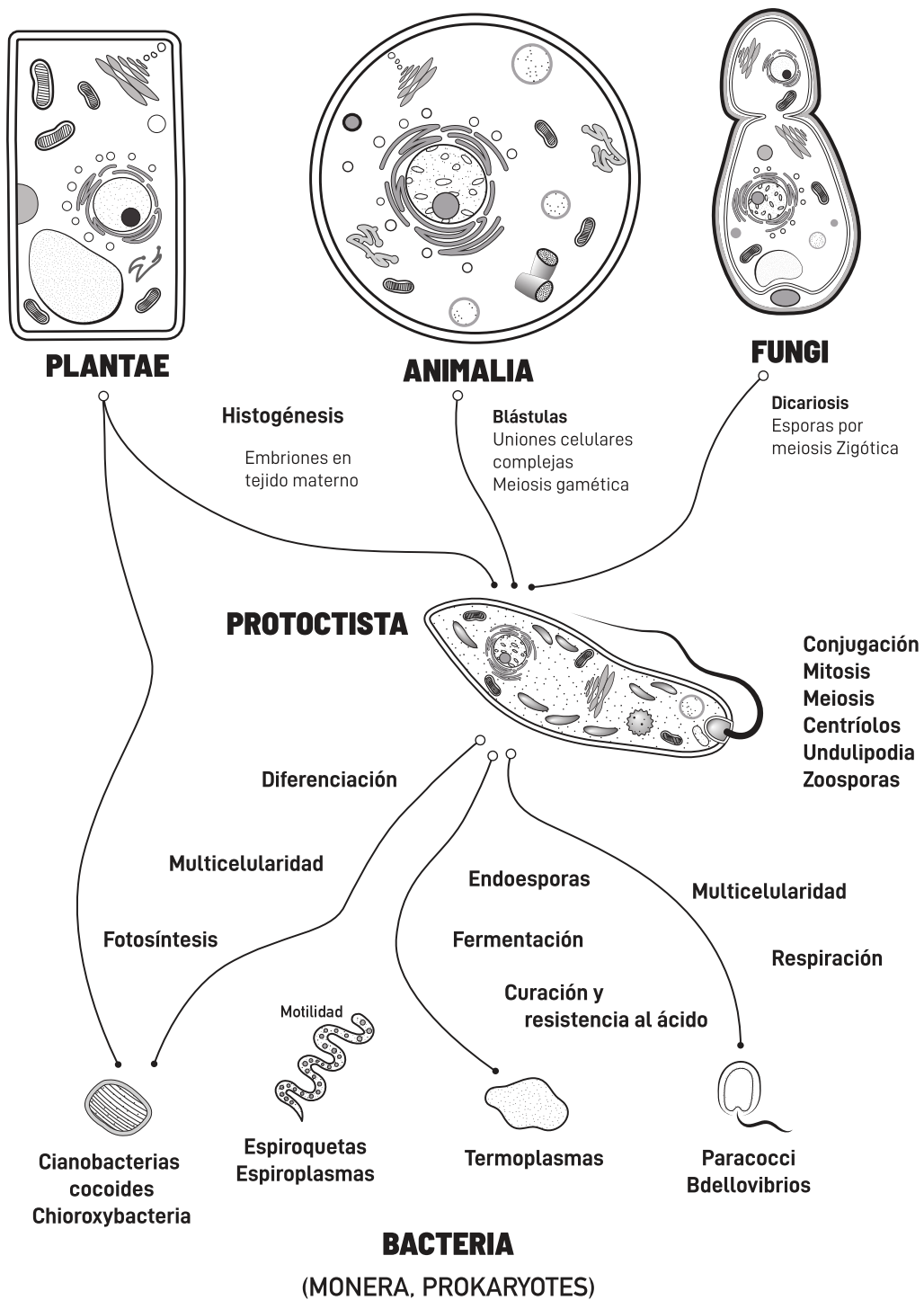


Figura 6.1: Filogéna macro-evolutiva de acuerdo con la simbiogénesis (Margulis 1998)

Durante el siglo XIX y XX se buscaban eslabones perdidos, restos de individuos de especies intermedias que permitiesen confirmar la gradualidad de la evolución. Actualmente, sin embargo, ya se empieza a trabajar en una explicación genética a la Teoría del equilibrio puntuado que permita seguir profundizando en este paradigma (Casanova y Konkel 2020).

Como se aprecia en la Figura 6.2 el equilibrio puntuado es un tema de investigación vivo y estable que genera nuevo conocimiento cada año. Es curioso, porque hasta el momento las figuras sobre el número de publicaciones han mostrado crecimientos y decrecimientos rápidos, pero en el caso del equilibrio puntuado el máximo alcanzado en 2012 es de 61 artículos, pero en la última década ha permanecido estable el número de publicaciones entre las 40 y 60 por año. Esta estabilidad se ha mantenido después de un periodo de crecimiento entre el año 2005 y 2010, que fue precedido por un periodo estable en torno a las 30 publicaciones por año entre 1994 y 2004. Nos encontramos ante una teoría que permanece estable en el tiempo para posteriormente crecer en periodos cortos de tiempo y volver a la estabilidad.

Por su parte la Figura 6.3 aparecen términos de genética y evolución, aunque nada de las relaciones ecológicas, pero es que nos encontramos ante una de las partes más especializadas de toda la memoria, que además es utilizada en defensa de la simbiogénesis. Lo más destacable es como campos que en las últimas décadas se han desarrollado con gran velocidad empiezan a encontrar límites y anomalías insalvables en la teoría sintética apostando por el equilibrio puntuado como parte del núcleo fuerte en disciplinas como la Biología Evolutiva, la simulación computacional (*computational simulation, biological model*) o la Genética (*genetics, molecular evolution*). En cualquier caso esperemos que con la difusión de la teoría simbiogenética o simbiogenesis el equilibrio puntuado pueda difundirse y quien sabe quizás en un tiempo el registro fósil ocupe un lugar destacado no solo en teoría evolutiva y Paleontología, sino en Ecología y en la comprensión de la biodiversidad y los ecosistemas.

Aceptar el equilibrio puntuado dentro de la Evolución no afecta en nada al darwinismo del siglo XIX pero si supone una contradicción insalvable para la teoría sintética porque el gradualismo es parte de su núcleo firme, por este motivo una hipótesis *ad hoc* de acuerdo con la Epistemología de los PIC propuestos por Lakatos no es viable para la teoría sintética (Lakatos et al. 2018).

La teoría del equilibrio puntuado ha superado incluso los límites de la Biología aplicándose en campos como la Política, sistemas políticos estables durante

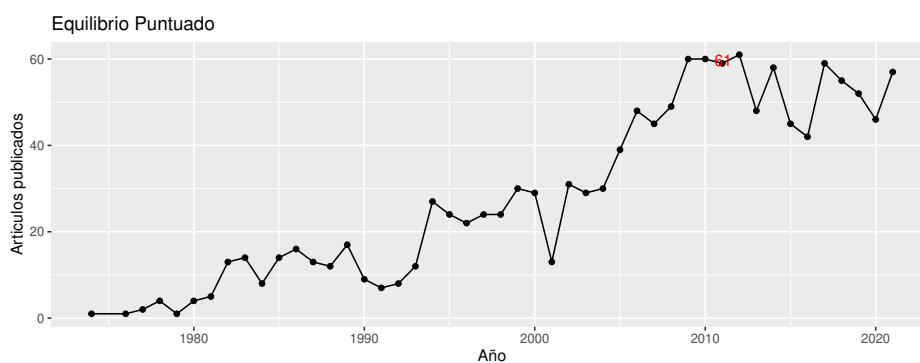


Figura 6.2: Publicaciones por año sobre el equilibrio (equilibrium) puntuado (punctuated) almacenadas en Scopus.

largos periodo de tiempo que sufren rápidas transformaciones en periodos cortos (Kaplaner y Steinebach 2022). Este ejemplo pone de manifiesto que el equilibrio puntuado se trata de un paradigma en crecimiento como sucedió en el siglo XIX con la teoría político-económica de Malthus que se convirtió en parte fundamental de la teoría evolutiva de Darwin (Girón 2008).

Esta relación entre la Política y Biología o la Ecología y Economía no es tan sencilla. Malthus no solo estableció una teoría para el crecimiento de las poblaciones y los recursos, sino que en su obra Malthus se empeña en justificar dicha idea en una nueva ciencia que nacía a finales del siglo XVIII, la Estadística.

En esa obra compara a partir de los primeros censos poblaciones como las hambrunas, epidemias y guerras se relacionan con las tasas de natalidad y mortalidad (Malthus 1990). Malthus es esencial para el desarrollo de la Estadística que tan importante ha sido para el desarrollo metodológico y científico.

Volviendo a los límites de la Biología, el equilibrio puntuado concuerda dentro de los paradigmas de la Simbiogénesis y de la Teoría Gaia, por tanto no es necesario añadir hipótesis *ad hoc* porque el equilibrio puntuado es parte del núcleo firme de ambas teorías. En el caso de la simbiogénesis Margulis y Sagan (2003), p. 140, recalca que:

«Son muy escasos los restos en rocas sedimentarias que acrediten la existencia real de una serie de pequeños pasos, que conecten gradualmente a una especie con sus descendientes. Las «huellas de biosferas pasadas», por utilizar la frase inmortal de Vladimir Vernadsky,

Equilibrio Puntuado

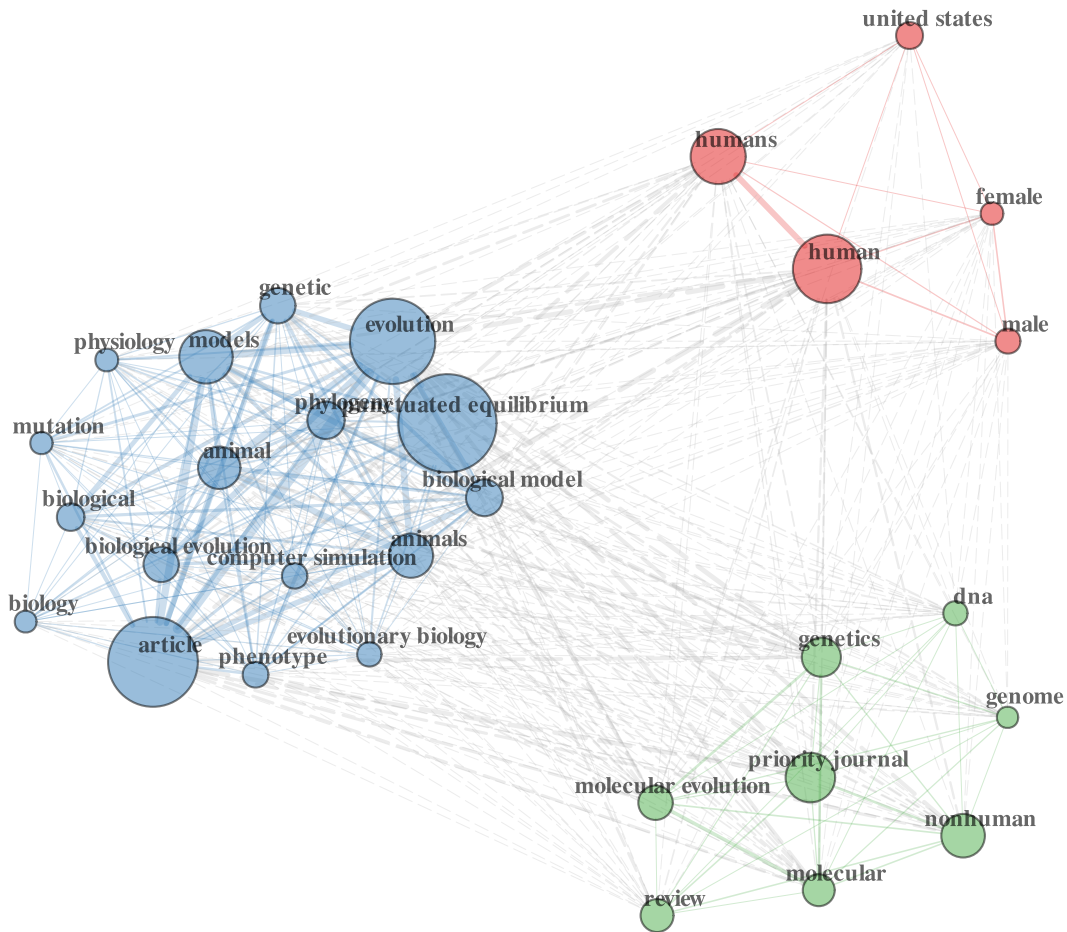


Figura 6.3: Cooocurrencias de términos en las publicaciones sobre el equilibrio (equilibrium) puntuado (punctuated) almacenados en Scopus.

proclaman exactamente lo contrario. El equilibrio puntuado está ahí bien patente para quien lo quiera ver».

En cuanto a la Teoría Gaia hay que tener en cuenta que Gaía como la entiende Margulis es la Biosfera, que su vez es el selector natural, es decir la Simbiogénesis es darwiniana en el sentido que la propia Selección Natural es una parte fundamental del núcleo firme, pero no admite el gradualismo como hipótesis válida, al contrario que la teoría sintética que tiene el gradualismo como parte firme de su núcleo.

6.3 Neodarwinistas justificando lo injustificable

Aunque no es un objetivo primordial y podría obviarse una comparación entre teorías aportando solo los datos necesarios que justifiquen la Simbiogénesis (Teoría Simbiogénica) bajo el Dadaísmo Epistemológico hay veces que ver la desesperación de la teoría rival y su alejamiento radical de la Ciencia puede ayudar a ver la situación con mejor perspectiva.

En Hancock et al. (2021) se pretende una crítica al equilibrio puntuado con el objetivo de salvar a la Teoría sintética, pero consiguen justo lo contrario mostrar la desesperación de un camino muerto. Para empezar el error más grave es la obsesión con explicar la macro-evolución a través de la micro-evolución sin hacer ninguna referencia a la Endosimbiosis Seriada (Sagan 1967), no es justificable en ningún contexto seguir con el empeño de obviar un núcleo firme que está demostrado.

El artículo en sí se centra en un ataque hacia el equilibrio puntuado como es lógico, pues supuso el certificado de muerte de la teoría sintética, pero además cae en la falacia de apropiarse de las ideas de Darwin y asumir todo lo que dijo como cierto.

Ni siquiera se esconden, cuestionan que el equilibrio puntuado sea darwiniano porque es Kuhniano. Un PIC que no trabaje bajo los paradigmas de Kuhn y pretenda aplicar el empirismo-lógico del siglo XIX no tiene cabida en la Ciencia actual, pero además adentrarse en una discusión como si una teoría al estar de acuerdo con las revoluciones científicas de Kuhn tiene que ser automáticamente anti-darwiniana revela una falta de rigurosidad científica pasmosa.

El trabajo de Kuhn tiene una gran relación con las Ciencias Naturales, porque añade la dimensión de la Historia humana en el estudio de la Historia Natural. Como ya se ha visto, pero nunca viene mal volver a recordar, la modernidad nunca fue y pretender explicar una Historia Natural sin el contexto social en que se realiza la investigación nos aleja de la realidad en sus múltiples dimensiones (naturales, humanas, personales...)

En referencia al registro fósil, asumen que el problema es la falta de un registro fósil más exhaustivo, pero esto se resumen en: “como las pruebas niegan mi hipótesis el problema es falta de datos”, y no es así. No es posible reconstruir la Historia Natural de forma exacta y no es posible replicarla en un laboratorio con lo que ante la imposibilidad de obtener un registro fósil exacto de cada individuo que ha existido en la Historia Natural se deriva que el gradualismo no

es falsable. El problema no está en los registros, sino en la teoría que no encaja con las evidencias empíricas.

El concepto de Biología básica no lo tienen muy claro. Asumen que cualquier estudiante de Biología conoce *Brassica oleracea* L., Sp. Pl., vol. 2, p. 667, y su taxonomía. Este error es pernicioso puesto que se asume que lo básico en Biología es la taxonomía los genotipos y los fenotipos; pero cualquier estudiante en Biología lo que ha de conocer, y entender, son unos mínimos de Citología y Bioquímica, en especial metabólica. Obviar la importancia de cloroplastos y mitocondrias, o peor aún, ignorar la diferencia macro-evolutiva entre Eucariontes y Procariontes no tiene cabida en un análisis riguroso sobre teoría evolutiva.

Ante todo hay una frase que revela el gran error en que se encuentra Hancock et al. (2021) casi al final del artículo dice lo siguiente:

«Uno de nosotros (ZBH), que, a diferencia de Gould, puede no haber “aprendido su marxismo literalmente en las rodillas de su padre”, pero que sin embargo logró absorberlo en otro lugar, simpatiza con este punto de vista (Gould y Eldredge 1977). Pero no está claro si PE —con el poder de la retrospectiva— causó un gran cambio de paradigma, o incluso si fue tan revolucionaria»³.

De este modo, una teoría construida a través de la observación y posterior deducción lógica de conclusiones a partir de enunciados, que además contradice el gradualismo, sí es parte de una revolución científica que se está viviendo en la Biología y las Ciencias Ambientales. Pero más allá de eso, la introducción del marxismo, de forma gratuita como argumento *ad hominem* (ya que no aparece ninguna otra referencia en el artículo salvo la expresión citada), no responde a ningún criterio científico o argumentativo más allá de una forma de “posverdad”.

En la actualidad, nos enfrentamos a un problema muy serio de pérdida de biodiversidad y tomarse la lucha entre paradigmas como si fuera una lucha entre Capitalismo y Comunismo es un error que no debería embarrar la discusión científica. Las revoluciones científicas son previas a Marx y Kuhn y en ningún momento de su obra Kuhn las asocia con Marx ni con la política, ni plantea nada parecido a una Historia entre “Ciencia Oprimida” y “Ciencia Opresora”, pero sí cabe de manifiesto un error que como se ha visto en la Historia de la

³Cita Original: «*One of us (ZBH), who, unlike Gould, may not have “learned his Marxism literally at his daddy’s knee” but nevertheless managed to absorb it elsewhere, is sympathetic to this view (Gould and Eldredge 1977). But it is unclear whether PE —admittedly with the power of hindsight— caused either a major paradigm shift or was even that revolutionary.*»

Edafología es común (Capítulo 4); la división en bloques del mundo occidental durante la segunda mitad del siglo XX ha sido parte de la historia irracional de la Ciencia.

Para terminar con el esperpento presentado en Hancock et al. (2021), cabe destacar que los autores siguen esperando una teoría “post-neo-Darwiniana”, como si el Neodarwinismo fuera un eslabón más en el desarrollo de la teoría evolutiva y no una teoría que surge de un paradigma que nos ha llevado a un desastre medioambiental y que nos encamina a una extinción masiva de la vida en el planeta Tierra (Cowie et al. 2022).

No, no hay que esperar a una nueva teoría o paradigma y mientras aguantar con la teoría sintética, la teoría simbiogenética está viva, demostrada a nivel macro-evolutivo, concuerda con el equilibrio puntuado y se demuestra cada día en los laboratorios que utilizan vectores biológicos para la transmisión horizontal de material genético. Es más hasta los estudios de mayor renombre de la teoría sintética pueden ser explicados por procesos simbiogenéticos como sucede en Dobzhansky (1982).

6.4 Un fantasma recorre la Ciencia: El dogmatismo

El desconocimiento de Vernadsky, Dokuchaev o Merezhkovski⁴ en la Ciencia anglo-sajona antes de la caída del Telón de Acero era entendible, que se niegue la profundidad rigurosidad e importancia histórica de la ciencia rusa⁵, hoy no tanto. El caso de Trofim Denisovich Lysenko y su relación con el stalinismo significó una fuerte conmoción para la recepción de la ciencia rusa en los Estados Unidos que llevó a catalogar a otros autores de “pseudocientíficos” como sucedió en el caso de Immanuel Velikovsky que aplicó una metodología de Mitología Comparada para explicar la aparición del planeta Venus (Velikovsky 2009, Gordin 2011).

Pero el desconocimiento o decaimiento de la ciencia rusa en el mundo anglo-sajón también se ha dado a la inversa con las leyes de Mendel en la Unión soviética. Este fenómeno responde a la historia del siglo XX y no tanto a si las leyes de

⁴Fue el primer autor en proponer la simbiogénesis (Kutschera y Khanna 2022).

⁵Se usa el adjetivo rusa, aunque en gran parte se puede hablar de soviética. Algunos autores como Merezhkovski o Dokuchaev son previos al periodo soviético y otros Vernadsky aunque pertenecientes al periodo soviético hoy se discute si fue ruso o ucraniano. Por este es el mismo problema de encuadrar la ciencia en su contexto histórico. Además añadir, que Margulis o Jenny si se acercaron a las obras de autores rusos y soviéticos, por lo que no fue toda la academia estadounidense sino una parte la que se fanatizo, al igual que la academia soviética. Superar estas divisiones territoriales y políticas es fundamental para avanzar en la construcción de una actividad científica global.

Mendel se cumplen o si Inmanuel Velikovski estaba en lo cierto del origen de Venus.

El problema con el rechazo total a la obra de Velikovski es que en su obra planteó serias críticas al gradualismo que han de ser tenidas en cuenta en la teoría evolutiva, pero su comparación automática con Lysenko es una defensa encarnizada de la teoría sintética para no aceptar sus propias contradicciones, que la evolución no es gradual y que los cambios climáticos son fundamentales en la evolución poniendo de manifiesto este error en la historia de la Biología.

En esta obra denostada por los científicos estadounidenses de mitad del siglo XX⁶, expone lo siguiente:

«Como Lamarck antes de Guvier, Darwin después de él pensaba que un proceso evolutivo extremadamente lento gobierna la genética, y que no había catástrofes que interrumpieran este proceso de cambios infinitesimales».

Para a continuación destacar la inconsistencia lógica y empírica del gradualismo a partir de exponer la imposibilidad del aislamiento geográfico como causa de extinción del género *Mammuthus*:

«Además, esta teoría no puede ser cierta porque los animales no murieron de inanición. En sus estómagos y entre sus dientes se encontraron hierba y hojas sin digerir. Esto también demuestra que murieron por una causa repentina»⁷.

Velikovsky utiliza datos paleontológicos, registro fósil, para justificar la posibilidad de producirse sucesos evolutivos a saltos tanto en Biología como en Geología; pero para la comunidad científica de la guerra fría solo era un ejemplo más del error en que se encontraba la ciencia soviética, y tuvieron que pasar dos décadas antes de que se planteara el equilibrio puntuado como teoría alternativa al gradualismo.

⁶Cita Original: «*Like Lamarck before Guvier, Darwin after him thought that an exceedingly slow evolutionary process governs genetics, and that there were no catastrophes interrupting this process of infinitesimal changes*» (Velikovsky 2009 cap. 2: *The Mammoths*). Aclarar que se ofrece el capítulo y no la página porque la versión consultada es una versión digitalizada sin numerado de página; de todas formas mediante el uso de “ctrl+F” se puede buscar la frase dentro de la obra.

⁷Cita Original: «*Besides, this theory cannot be true because the animals did not die of starvation. In their stomachs and between their teeth undigested grass and leaves were found. This, too, proves that they died from a sudden cause*» (Velikovsky 2009 cap. 2: *The Mammoths*).

En cualquier caso el debate sobre gradualismo y saltacionismo que no se ha terminado de dar por cierto resquemor a las teorías propuestas y estudiadas en Rusia responde a la historia externa o la irracionalidad de la historia de una ciencia y por este aspecto histórico tiene que ser tenido en cuenta en el debate científico en torno a la evolución⁸.

El clima y la evolución están relacionados, la evolución se produce a saltos y tan solo una visión que acepte este paradigma es viable ante la grave crisis climática que nos encontramos.

Se suele resumir repetidamente el experimento de Dobzhansky (1982) como ejemplo de especiación mediante mutaciones aleatorias, pero esta obra fundamental para la teoría sintética no demuestra una especiación sino un efecto de aislamiento reproductor de *Drosophila* (Mallet 2006). No es que el experimento sea inválido y no se demuestre un aislamiento reproductivo en *Drosophila* pero se ha comprobado que la causa puede ser debida a una alteración del microbioma de *Drosophila* en las condiciones de laboratorio (Guilhot et al. 2019), mientras que no hay una sola prueba genética de la aparición de mutaciones aleatorias que lleven a una especiación.

Poner la lupa sobre el objeto es importante, un experimento puede ser concluyente por razones que no han sido plateadas, y atendiendo a la literatura actual y las pruebas es más probable que la biodiversidad que compone a todo ser pluricelular tenga un papel más importante en la reproducción que las mutaciones aleatorias.

En consecuencia, si el gradualismo no se sostiene desde el estudio del registro fósil, el mutacionismo queda acotado a cambios intra-especie intrascendentes. Como mucho las mutaciones tienen importancia en la biodiversidad de los procariontes; Margulis recalca que las bacterias son fundamentales en el proceso de especiación por simbiogénesis y debido a su simplicidad pueden sufrir mutaciones trascendentes sin colapsar como organismos, pero no existe especiación en los procariontes (Margulis y Sagan 2003 pp. 124-126). A la vez, remarcar que no se ha documentado ninguna prueba de especiación por mutaciones aleatorias siendo las mutaciones causa de inviabilidad en los individuos en la mayoría de los casos (Fet 2021).

⁸«Ninguna teoría de la racionalidad resolverá jamás problemas como el de por qué la genética mendeliana desapareció de la Rusia soviética en 1950, o por qué ciertas escuelas de investigación genética de las diferencias raciales o de investigación económica de ayuda al exterior cayeron en desgracia en los países anglosajones en 1960. Sin embargo, para explicar los diferentes ritmos de desarrollo de distintos programas de investigación, podemos vernos precisados a invocar la historia externa» (Lakatos et al. 2018 pp. 31-32).

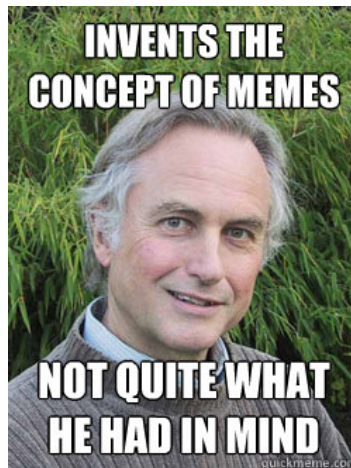


Figura 6.4: Ejemplo de meme que juega con el propio concepto y su creador R. Dawkins.

El fundamento del error anterior se debe a una de las partes más oscuras y teológicas de la teoría sintética de la evolución, el aislamiento genético que lleva a entender al “gen” como ente sobre el que actúa la Selección Natural. En Dawkins (2017) se propone una molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN) viva que se autoréplica mostrando un desconocimiento abrumador de la Biología Molecular básica, puesto que es la polimerasa la que “replica” al ADN, pero el problema es hablar en estos términos. La unidad básica de la vida es la célula y se puede estudiar el metaboloma o el genoma, pero no suponer que la célula es un simple huésped de replicantes llamados genes.

A pesar de ello es remarcable la introducción del concepto *meme* como unidad de información cultural, aunque lo de suponer que tienen vida propia es algo exagerado, porque los seres vivos son autopoieticos, es decir, un conjunto como un sistema molecular y no solo una parte (Figura 6.4).

6.5 Postulados simbiogénicos

La teoría simbiogénica se puede resumir en los siguientes postulados los cuales se encuentran en consonancia con las pruebas empíricas disponibles:

- La unidad básica de la vida es la célula
- La Selección Natural como el propio nombre indica, selecciona, pero no genera nuevas formas de vida.
- Los seres vivos son autopoieticos.

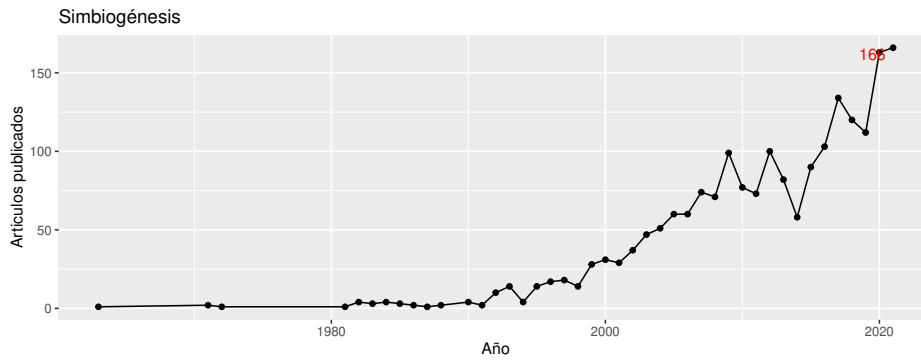


Figura 6.5: Publicaciones por año sobre simbiogénesis (syntbiogenesis) almacenadas en Scopus.

- La especiación se produce por simbiosis (principalmente⁹) y solo ocurre en el dominio Eucarionte.
- La Biosfera (Gaia) es el selector natural.
- La especiación se produce cuando un genoma es incorporado a otro, por tanto no sucede de forma gradual¹⁰.



En cuanto al impacto la de la simbiogénesis se puede observar como sigue aumentando (Figura 6.5), pasando de ser un concepto residual en las últimas décadas del siglo XX tan solo defendido por un puñado de científicos entre los que destacan Margulis o Thomas Cavalier-Smith, pero con la entrada del siglo XXI el concepto ha tomado fuerza dentro de la comunidad científica.

Por otro lado, la relación de términos en torno a la Simbiogénesis generará una sensación agridulce (Figura 6.6), por un lado se aprecia como el término se relaciona con conceptos dentro de la Genética (sequence analysis, genome,

⁹Margulis reconoce otras formas de evolución, todas ellas saltacionistas como la fisión cariotípica (Margulis y Sagan 2003 pp. 253-258).

¹⁰[Enlace entrevista a Margulis el 4 de septiembree de 2011.](#)

Simbiogénesis

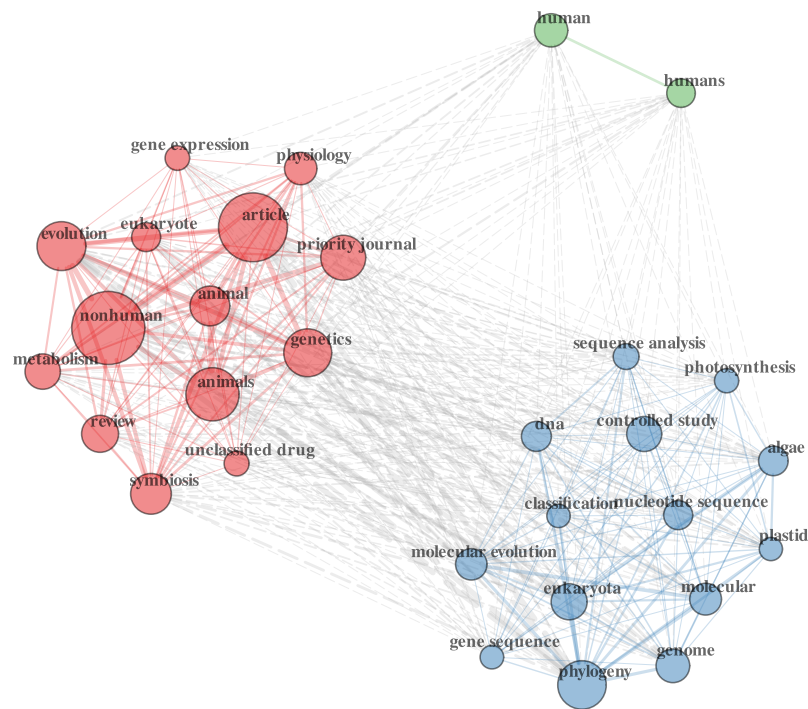


Figura 6.6: Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre simbiogénesis (symbiogenesis) almacenados en Scopus.

dna...) y la evolución (phylogeny, classification) lo que puede implicar que en unos pocos años la Genética adopte este paradigma definitivamente, al igual que la filogenia, abandonado la teoría sintética definitivamente; pero se echa en falta términos relacionados con la Biosfera o la Ecología puesto que ante todo la simbiogénesis es una teoría que integra nuestra visión de la evolución en un sistema homeostático llamado sistema Tierra (Gaia).

7. El reino *Fungi* clave para entender la evolución

Independientemente de las discrepancias entre la Teoría Sintética de la Evolución y la Teoría Simbiogenética, existen un gran número de pruebas a favor de la segunda, pero hay que saber donde mirar y el reino fúngico aporta un gran número de evidencias de la plasticidad genética de la vida, a la vez que nos enseña la importancia de la simbiosis en la evolución.

El ejemplo paradigmático de simbiosis son los líquenes que se componen de hongos y algas, es decir, un organismo compuesto por células con diferentes orígenes evolutivos que además se relacionan con comunidades de bacterias formando un ecosistema dinámico denominado holobionte (Rolshausen et al. 2022).

El concepto de holobionte supone a los individuos macroscópicos como ecosistemas en si mismos y ha permitido el desarrollo de campos de estudio como la Biología de sistemas donde los seres vivos son estudiados como (eco)sistemas compuestos por microbiomas. La discusión en torno al concepto de individuo biológico se ha centrado en los últimos tiempos en definir si el holobionte es o no un individuo con cualidades emergentes que no están presentes en los componentes por separado (Suárez y Triviño 2019). ¿Y no es acaso esto mismo el proceso evolutivo?

Organismos que conviven juntos de forma física y que acaban interreaccionandose de tal forma que acaban constituyendo un solo individuo biológico con nuevas características no presentes previamente. Los individuos resultantes del proceso evolutivo no son mutantes generados por variaciones aleatorias del genoma, al menos en el dominio Eucarionte, sino quimeras formadas por la unión de otros organismos. Esta visión se remonta a Empedocles y nos recuerda que los actores de la Historia Natural son quimeras y no mutantes ni replicantes (Sagan 2021).

Una vez se empieza a estudiar Micología y sobre todo los hongos microscópicos, en general la vida microbiana, se observa como la taxonomía e incluso

Tabla 7.1: Representación heterotalismo tetrapolar.

	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
A1B1	Infértil	Infértil	Infértil	Fértil
A1B2	Infértil	Infértil	Fértil	Infértil
A2B1	Infértil	Fértil	Infértil	Infértil
A2B2	Fértil	Infértil	Infértil	Infértil

la filogenética solo permite clasificar algunos géneros ubicuos de hongos macroscópicos y en muy pocos casos es posible determinar su especie.

Este problema se debe a la dificultad de observar la diversidad fúngica de forma morfológica. Existen casos comunes como los basidiomicetos macroscópicos o setas de los que se conocen gran cantidad de especies por características morfológicas (o fentotípicas que está de moda el término), aunque aún así es necesario revisar la clasificación de hongos comestibles para evitarse un susto (Nieminen y Mustonen 2020, Li et al. 2021).

Sí es difícil clasificar taxones de hongos macroscópicos, los hongos microscópicos son aun más complicados y en caso de presentar solo crecimiento vegetativo (hifas) la identificación morfológica es prácticamente imposible. Por ejemplo, no es posible utilizar el criterio de descendencia fértil a la hora de clasificar especies de hongos porque a diferencia de los animales los hongos raramente presentan dimorfismo sexual, y no porque se reproduzcan únicamente de forma asexual, sino porque muchas especies presentan heterotalismo tetrapolar. Con lo que la reproducción no se ve limitada a dos sexos. En el caso del heterotalismo tetrapolar no es posible observar diferencias morfológicas entre los grupos. Es decir existe aislamiento sexual intra-especie invalidando cualquier idea de especiación basada en el aislamiento sexual y dimorfismo (Tabla 7.1).

La idea de que estas diferencias, normalmente atribuidas a variaciones alelomórficas, se conoce desde principios del siglo XX y ya se descartó que se debieran a procesos de mutación o aparición de nuevas especies recalando que la alelomorfía era estable en el tiempo (Whitehouse 1949).

Por otro lado, a parte de la heterotalia y sus múltiples combinaciones, también existen hongos que presentan homotalia, es decir, que se pueden reproducir sexualmente ellos solos o que son unisexuales, que no asexuales (Wilson et al. 2021a). En otros casos los ciclos de heterotalismo y homotalismo se pueden alternar en una misma especie lo que se conoce como pseudo-homotalismo (Lin y Heitman 2014, Grognet y Silar 2015). Además existen especies de hongos en las que se asume la reproducción sexual como un hecho probable, aunque no se ha observado todavía ningún caso (Reinhardt et al. 2021).

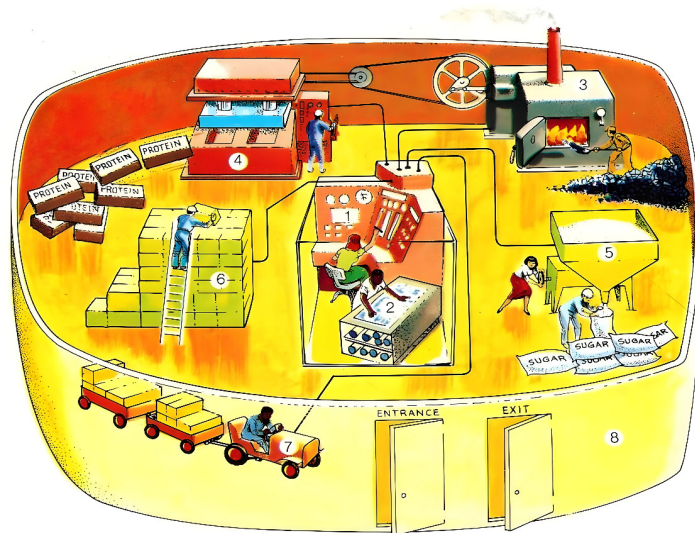


Figura 7.1: Representación de la célula como una fábrica donde el ADN es el director.

Recientemente se ha abordado el problema de la reproducción sexual en hongos desde la Genética. Desde esta disciplina, se estudia la existencia de genes correspondientes a los tipos de acoplamiento (*mating types*) o genes ideomorfos, pero las dificultades a la hora de su caracterización son enormes desde los procesos de transcripción hasta su correcta localización en el genoma, se espera que la técnica CRISP (*clustered regularly interspaced short palindromic repeats*) permita responder estas cuestiones, pero todavía es difícil la comprensión de la plasticidad sexual en este reino (Wilson et al. 2021b).

Todavía no se conoce bien la reproducción sexual de los hongos pero si que queda claro que la especiación no tiene nada que ver con el aislamiento sexual. Si se atiende a la definición de especie ofrecida por Margulis en Margulis y Sagan (2003) la especiación se produce por la integración de un genoma en otro, dando como resultado un nuevo genoma que es la suma de todos los genomas previos y solo se puede hablar de procesos de especiación en el dominio Eucariote.

Toda teoría que pretenda entender la vida como individuos aislados incurre en un error filosófico extremadamente grave, vivir implica convivir y no es posible la imaginación de células aisladas con núcleos como fortalezas o centros de “mando” donde una molécula tiene voluntad propia y lucha por replicarse (Figura 7.1). Asumir la célula como una unidad de producción y no como la unidad de la vida genera serios problemas en el entendimiento de la Biología.

Cuando un estudiante de Biología se enfrenta a un concepto tan reduccionista de la disciplina que pretende conocer creerá que aprende la estructura celular, pero en realidad está estudiando una de las muchas estructuras celulares

existentes que con suerte incluirá el cloroplasto para remarcar la diferencia entre los reinos Plantae y Animalia, pero seguramente el modelo celular no contemplará la posibilidad de una célula multinucleada. Incluso teniendo en cuenta que células de animales como las de la placenta o los músculos sean multinucleadas, raramente son tomadas como algo más que anomalías.

Muchas especies de hongos presentan estructuras celulares multinucleadas, en especial en las hifas (micelio), en concreto de tipo sincito donde los núcleos interaccionan entre sí y con las mitocondrias (Mela et al. 2020). Se suele hablar en terminos de cooperación y competencia, pero como ya se ha expuesto más arriba esto es un problema de utilizar lenguaje económico (coste/beneficio) en la Biología, por ello en esta memoria se prefiere el término interacción.

Hay que tener en cuenta, además, que los hongos pueden presentar un tipo de dimorfismo peculiar, una población puede estar compuesta por individuos unicelulares (levadura) y pluricelulares (micelio), estos hongos se conocen como hongos dimórficos (Boyce y Andrianopoulos 2015).

Lo que queda claro es que suponer que solo hay un genoma por célula, o peor aun, por individuo biológico es un error. Los individuos eucariontes y sus células se componen de varios genomas (nuclear, mitocondrial...) que en su conjunto forman el hologenoma, al igual que el conjunto de células, tanto eucariontes como procariontes, forman el holobionte o individuo biológico pluricelular (Rosenberg 2021).

Los términos **holobiont** (holobionte) y **hologenome** (hologenoma) son términos que recientemente han visto aumentado significativamente el número de publicaciones en la última década, es cierto que el estudio del holobionte presenta más atención y no para de aumentar (Figuras 7.2 y 7.3). Pero tiene sentido puesto que el hologenoma es una propiedad del holobionte y la verdadera “revolución” de concepto en la evolución es la simbiosis (**symbiont**, **symbiosis**) en relación a la ómicas (**rna 16s**, **genetics**, **metabolism**), la biodiversidad (**microbial diversity**, **coral reef**, **bacteria**, **anthozoa**, **microbiome**, **microbial community**, **microflora**) y la fisiología (**pysiology**); como se ve en la Figura 7.4.

Por su parte en la Figura 7.5 se observa como el término evolución (**evolution**) se relaciona con la biodiversidad (**microbiome** **microbiota** **microflora**) y la genética (**genetics**) en el subbloque azul (superior) como sucede con el holobionte. Además aparece un subbloque rojo más especializado en la relación entre genética (**dna sequence**, **rna16**, **dna**, **genome**) y biodiversidad (**bacteria (microorganisms)**, **microbiology**, **microintestinal microbiome**, **microbial community**).

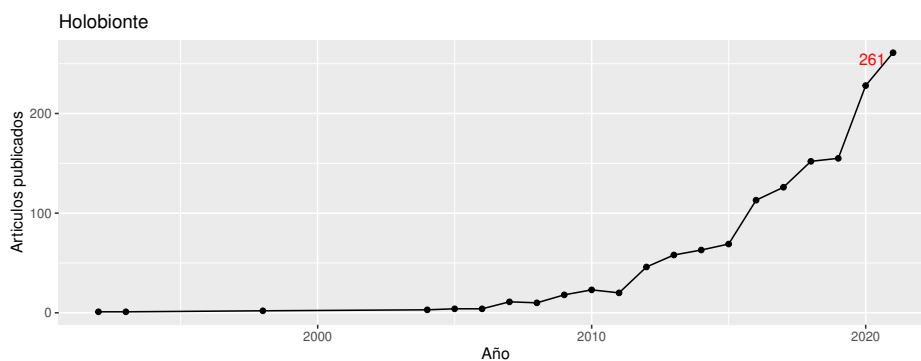


Figura 7.2: Número publicaciones que contienen el término holobionte.

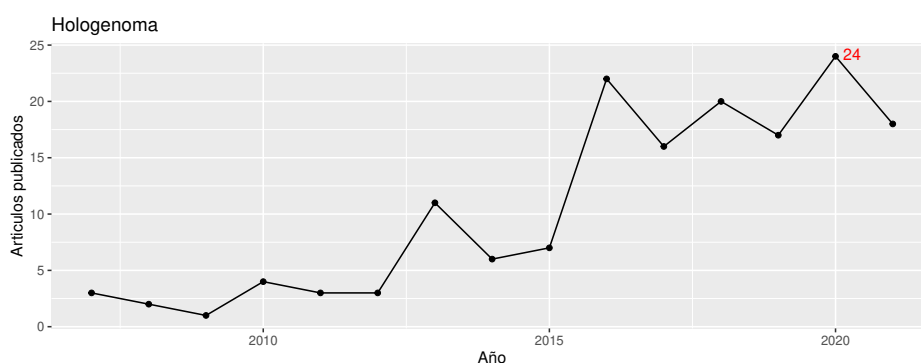


Figura 7.3: Número publicaciones que contienen el término hologenoma.

El aislamiento reproductivo o la presencia de un solo núcleo por célula con material genético que solo se ve alterado por mutaciones y que no interacciona con más partes del hologenoma son hipótesis que han sido desacreditadas, pero hay una prueba mayor de la plausibilidad de la teoría simbiogénética en el reino *Fungi*: La hibridación inter-específica.

La hibridación inter-específica se conoce en bacterias desde hace largo tiempo, pero en Eucariontes se tenía como un proceso evolutivo residual para algunos casos concretos. En las últimas décadas con la secuenciación de los genomas de diferentes especies fúngicas se ha comprobado que este mecanismo de evolución es muy común y que no solo se produce entre individuos de clados cercanos, por el contrario se han encontrado hibridaciones específicas en hongos que variaban un 20 genéticamente¹ (Steensels et al. 2021).

Puede interpretarse que todos estos procesos son un abanico diverso de formas de evolución, pero se empieza a vislumbrar que lo que estamos observando son las piezas de un rompecabezas del que apenas sabemos todavía nada. se ha demostrado que la interacción entre el ADN mitocondrial y el nuclear es esencial

¹En el reino animal esto equivaldría a decir que el ADN humano podría hibridarse con el de un ratón.

Holobionte

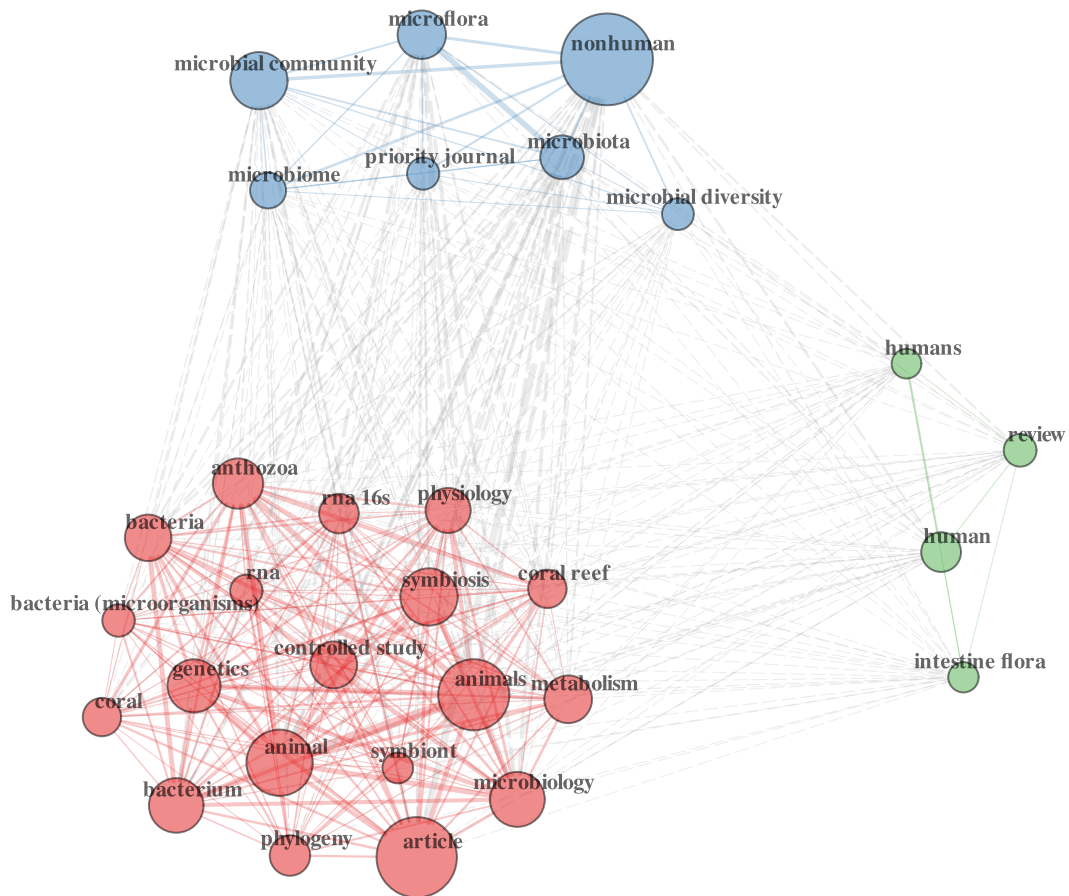


Figura 7.4: Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre el concepto de holobionte (holobiont).

para la hibridación inter-específica proporcionando la unión de ambos procesos una rápida adaptabilidad de los hongos a los cambios ambientales (Giordano et al. 2018, Fan et al. 2019).

No cabe duda de que los hongos son un magnífico ejemplo de transmisión horizontal genética, pero también son esenciales en los ecosistemas no solo por ser descomponedores de materia orgánica sino que además forman relaciones simbióticas con otros reinos co-evolucionando con otros organismos.

El ejemplo paradigmático es la micorrización que consiste en la simbiosis de las raíces de las plantas con diversas especies de hongos; esta asociación es tan importante y antigua que el registro fósil sugiere que fue esencial para la colonización terrestre de las plantas (Strullu-Derrien y Strullu 2007).

En Edafología esta relación es de vital importancia, sin plantas terrestres ni

Hologenoma

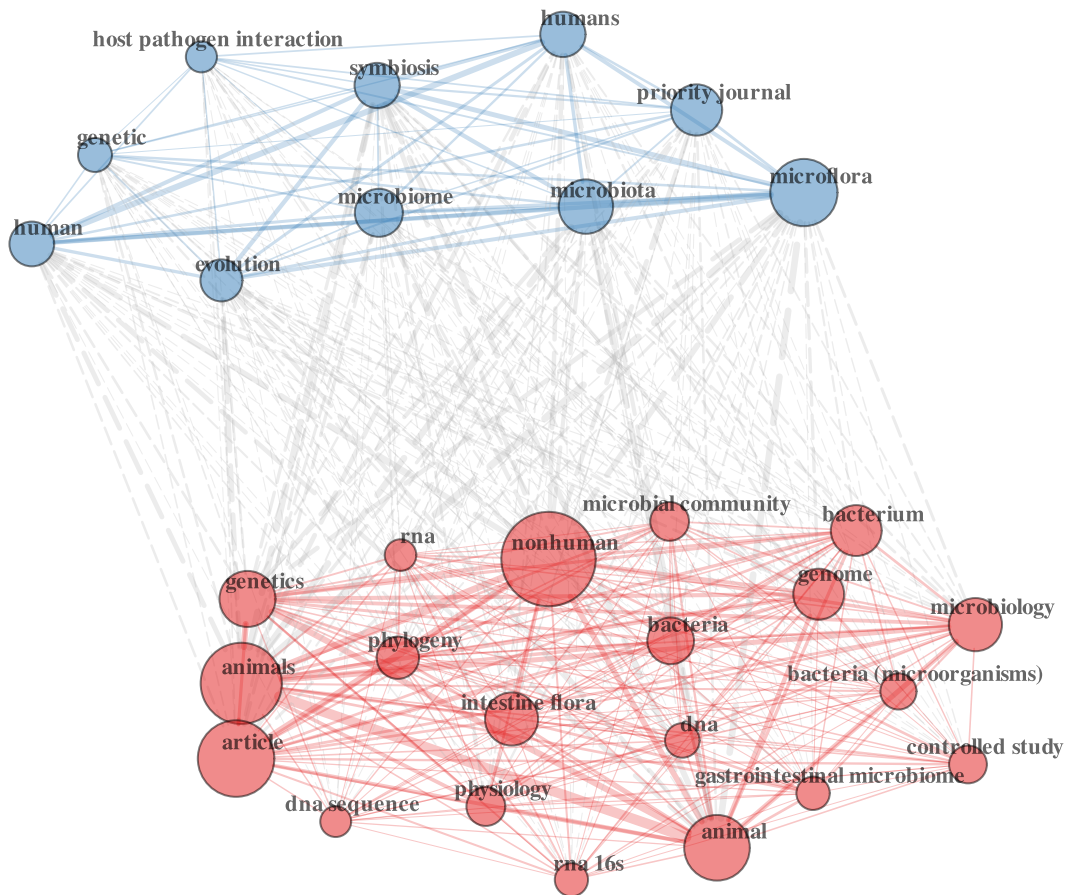


Figura 7.5: Coocurrencias de términos en las publicaciones sobre el concepto de hologenoma (hologenome).

hongos no habría suelo y por tanto la simbiosis es un proceso crucial de la Edafogénesis siempre que se trabaje bajo el paradigma de Dokutchaeu. Es de sobra conocida la importancia de la glomalina producida por los hongos micorrícicos en la estabilidad de los agregados del suelo que en resumen viene a ser que la estructura física del suelo esta íntimamente ligada a la biodiversidad del mismo (Wu et al. 2012).

No solo la estructura física, los propios ciclos del carbono y nitrógeno se ven afectas por la micorrización (Shi et al. 2021). Es decir, las propias funciones ecológicas del suelo se dan gracias a la biota y en concreto a la interacción simbiótica de plantas hongos y procariontes. Además el estudio de la Ecología del reino Fungi nos acerca a una obra coral, sin director humano de orquesta, donde los actantes no humanos que interactúan pueden ser contemplados de diversas formas, ayudando a la elaboración de un marco teórico eco-social (Yao y Liu 2022).

Si observamos correctamente la ecología del reino Fungi nos daremos cuenta que es un reino muy sociable, desde su interacción con la termitas (Schmidt et al. 2022), con las plantas (micorrización, endosimbiontes...), hasta su relación con la cultura griega (Wasson et al. 2013).

Por todo ello, se puede afirmar que la estrecha relación entre el medio ambiente y los seres vivos es la base de la Biosfera como ya anticipó Lovelock en la teoría Gaia, las relaciones entre la biodiversidad son la base de la evolución como bien propuso Margulis y el conjunto de lo anterior sumado a nuestra propia visión del planeta son las esferas de Vernadsky (Biosfera y Noosfera); y todo ello nos puede servir para abordar el estudio del reino Fungi.

8. Más allá del relato

«Las cosas, también ellas, tienen derecho a la dignidad de ser relatos».

— Latour (2007), p. 133

Aunque este capítulo se permita comenzar con una conjunción, la idea de ir más allá del propio relato guarda una estrecha relación con los metadatos. La forma más sencilla de comenzar una narración es “pararse” a observar para continuar con la temática tratada y comunmente concluir un desenlace, aunque no siempre es necesario. La ciencia en su construcción narrativa necesita de los hechos (*facts*), pero ¿qué es un “hecho”? No está exenta de polémica la aceptación de los hechos y en gran medida estos son el campo de batalla de las teorías científicas. Pero con los datos es diferente, no son sucesos, sino información.

Sin entrar en la estéril cuestión que prolíficamente ha dado lugar a la Epistemología: ¿Cómo sé que sé? Los datos son fragmentos de “realidad” un pequeño fragmento conservados de forma cognitiva, que se puede recordar o almacenar mecánicamente; pero que ha de ser interpretado. En una construcción de metanarrativa, o en la idea ir más allá del relato se esconde la pregunta epistemológica ¿Qué es este mismo relato dentro del relato?

Si los píxeles o, futura tinta en caso de ser impresa esta memoria, son un hecho, un objeto que existe en el mundo físico ya sea en forma electrónica o impresa este mismo relato es un hecho, pero no implica que la interpretación de este mismo hecho haya sido correcta, acertada o fidedigna; aunque el propio meta-análisis del relato permite aproximarse desde los datos o testigos que deja la misma construcción del relato al mismo relato.

En este caso concreto, el capítulo se centrará en el análisis de la propia bibliografía, ofreciendo una metodología creada para los datos bibliográficos de los que se dispone. La forma en que surge y se narra el siguiente capítulo

implica que en caso de añadir alguna referencia nueva en el capítulo, los resultados (gráficos y tablas) obtenidos cambiarán pudiendo elaborarse una nueva interpretación, aunque para ello no es imprescindible el añadir nuevos datos para que las interpretaciones varíen porque como dijo Feyerabend «Uno y el mismo conjunto de datos observacionales es compatible con teorías muy distintas y mutuamente inconsistentes.» (Capítulo 4).

En definitiva, lo que este capítulo pretende es explorar nuevas formas de relacionar términos y construir con ellos historias que puedan cuanto mínimo, sino dar por hecho, al menos ser respaldadas por datos. Pero estas narrativas no pretenden ni ser un relato moderno: “El cambio climático es un hecho natural”; ni tampoco posmoderno “el cambio climático es una construcción social” (Latour 2007). Por el contrario este capítulo pretende ante todo que el lector pueda elaborar sus propios relatos a partir de su propia bibliografía, y para ello, LA CONSTRUCCIÓN DEL RELATO se ha usado como ejemplo.

Es tan válido la creación de una obra de ficción como lo es la descripción más bella de la naturaleza, esta es quizás la mayor fuerza del relato, que puede ser épico, satírico, dramático, irónico o todo a la vez, y esta forma lúdica del conocimiento no es algo adyacente sino nuclear en el desempeño científico. ¡Qué le pregunten a Dawkins por los *memes*!

En cualquier caso, la metanarrativa cuenta lo que se está contando y la realidad expuesta o debatida en un determinado contexto y los metadatos son los datos que se obtienen de la propia actividad realizada (Edmond y Folan 2017, Fage-Butler et al. 2022).

Si permite un consejo antes de proceder, trate de interpretar el capítulo e incluso replicar el experimento con sus propios datos, pero no se obsesione con comprender, pues este capítulo no tiene como objetivo la purificación de los términos expuestos en esta obra, sino el permitir observar dichos términos desde una pluralidad de perspectivas.

8.1 Estructura del capítulo

Como se ha destacado en el prefacio, este capítulo es posterior a la discusión y se analiza la relación de la bibliografía empleada en la construcción del relato. El capítulo se puede dividir en dos grandes apartados:

1. Términos presentes en las búsquedas de *Scopus*.
2. Relación entre los resúmenes de la bibliografía consultada.

En el primer apartado simplemente se expone de manera conjunta las coocurrencias de términos de forma más detallada que en las figuras de coocurrencias que solo representan los 30 términos más destacables. El objetivo del apartado es visualizar los términos que sirven de mediación entre los diferentes conceptos y campos de estudio.

Por el contrario, en la segunda parte y ante la imposibilidad de aplicar *bibliometrix* se ha elaborado una metodología propia para el análisis bibliométrico. Esta metodología es específica y no es contradictoria con la descrita en el Capítulo 2, sino un subapartado o ampliación de la misma. Por este motivo es necesario aclarar que este capítulo no se trata de unos resultados al uso, pues una parte del mismo incluye una metodología propia para la forma en que ha sido recogida la bibliografía, pero no es una metodología *ad hoc* puesto que puede ser usada con cualquier conjunto de observaciones (referencias) que se desee.

8.2 Términos presentes en todas las búsquedas en *Scopus*

Como ya hemos dicho, un relato es una redacción a través de la que contamos y nos contamos historias. En el caso de los relatos científicos atendiendo a las necesidades epistemológicas explicadas anteriormente y en especial en los PICs es necesario que haya un hilo conductor a lo largo de la obra, pero este no ha de ser explícito, el conocimiento no es cascar nueces como ya decía Nietzsche en su obra *Zaratustra*.

Una forma de comprobar que temas han estado continuamente en la obra es comprobar los términos que han aparecido en todas las búsquedas bibliográficas. Para ello, se han extraído las palabras clave resultantes del análisis y se ha creado una lista con los términos que aparecen en todas las búsquedas. Posteriormente, se han eliminado palabras que por las propias particularidades del análisis y la redacción científica aparecen comúnmente (*male, female, nombres de países...*) y se ha creado una tabla con los términos resultantes (Tabla 8.1).

Ante todo la aparición constante de **biodiversidad** y **medio ambiente** indica que las temáticas tratadas, las teorías e hipótesis son de gran interés para la Biodiversidad y la Gestión Ambiental. Por otro lado, se observa la gran importancia del desarrollo sustentable que como se ha visto es de gran interés en la sociedad sin olvidar que la supervivencia (**adaptación**) es un tema de especial interés en la relación de nuestra especie con el medio.

Tabla 8.1: Relación de palabras clave que aparecen en todos los análisis bibliométricos realizados.

ADAPTATION	EMPIRICAL ANALYSIS
ANIMALIA	ENVIRONMENT
BIODIVERSITY	ENVIRONMENTAL CHANGE
BIOLOGICAL	ENVIRONMENTAL PROTECTION
BIOMASS	GROWTH
CARBON	LIFE CYCLE
CLIMATE CHANGE	PACIFIC OCEAN
COMPARATIVE STUDY	POLLUTION
CONCEPTUAL FRAMEWORK	POPULATION STATISTICS
ECOLOGY	SURVIVAL
ECOSYSTEM	SUSTAINABLE DEVELOPMENT
ECOSYSTEMS	THEORETICAL STUDY

Más interesante serían los términos polisémicos entre la Economía y la Biología. El **crecimiento** que puede referirse tanto al crecimiento de los organismos como al de la economía que como se ha visto requiere una revisión en profundidad pues en muchas ocasiones un crecimiento económico implica una mayor extracción de recursos lo que puede suponer serios problemas para el crecimiento y desarrollo biológico en los ecosistemas afectados por la explotación de dichos recursos.

En menor medida, pero de igual modo el término biomasa se presenta a esta confusión pues puede tratarse de la masa que compone los seres vivos o de un recurso energético según la disciplina. Más compleja aún es la relación del carbono con la polisemia, puesto que tiene importancia tanto en la biogeoquímica planetaria y en la bioquímica de los organismos; pero por otro lado, es una variable económica que se ha introducido desde una primera permeación de la Ecología hacia la Economía, como sucede en el caso de las tasas de emisión de carbono (Wang y Zhang 2021).

Independientemente de lo anterior, la aparición continua de **estudio teórico** y **análisis empírico** refuerza la idea que se ha intentado transmitir durante toda la memoria, la importancia de las generalizaciones empíricas y el pluralismo teórico. El poder contar con límites empíricos que limitan la deducción como método de estudio es muy importante porque establece un marco sobre el que construir las teorías y poner en pugna los paradigmas alternativos que intentan hacer frente a las anomalías de forma diferente a los paradigmas vigentes.

En conclusión, atendiendo al trabajo epistemológico de Latour (Latour 2007) se puede afirmar que el trabajo bibliométrico realizado tiene como último objetivo la mediación entre las diferentes disciplinas que trabajan en torno al cambio climático y la biodiversidad con el fin de elaborar un discurso abierto, pero común. En general, los términos tratados, los conceptos desarrollados, las críticas y las discusiones llevadas a cabo han puesto de manifiesto como en

muchas ocasiones diferentes disciplinas trabajan sobre los mismos objetos, pero los nombran y les dan propiedades desde perspectivas diferentes.

8.3 Análisis de la propia bibliografía (meta-análisis)

La preparación de los datos ha requerido de una elaboración de los datos previa al análisis propiamente dicho. En este apartado se encuentran dos subapartados, uno primero donde se presentan y exponen dos funciones para el procesamiento de los datos y un segundo subapartado donde se realiza el análisis estadísticos de los datos. Por último, los resultados del meta-análisis será utilizado para respaldar las conclusiones finales de esta memoria (Capítulo 9).

8.3.1 La cocina de los datos: biblioMXL2DF y absDummy (preparación de los datos)

Una vez elaborados los capítulos del 3 al 7 y analizados los datos bibliométricos obtenidos de *Scopus* con la biblioteca `bibliometrix`, se intentó analizar la propia bibliografía con `bibliometrix`, pero no ha sido posible pues esta presentaba una estructura diferente a las generadas en las búsquedas de *Scopus*. Para solucionar el inconveniente se ha tenido que recurrir a la creación de dos funciones propias (`biblioMXL2DF` y `absDummy`) que permitieran crear un conjunto de datos analizable en R.

La primera función `biblioMXL2DF` permite leer bibliografía en formato *Extensible Markup Language* (XML) generando un objeto tipo `data frame` que contiene las entradas de la bibliografía incluyendo algunas como DOI o URL. El objeto tipo `data frame` resultante puede ser empleado directamente en el análisis o guardado en cualquier formato que R permite. En el caso de esta memoria por motivos de sencillez y teniendo en cuenta que el conjunto es tan solo de unos cientos de observaciones (209 en total) se ha optado por el formato *comma separated values* o `CSV`.

El código de `biblioMXL2DF` es el siguiente:

```
biblioMXL2DF <- function( file ){  
  require( XML )  
  objeto <- xmlParse( file )  
  objeto <- xmlToList( objeto )  
  
  max.var <- c()
```

```

for( i in 1:length( objeto ) ){
  num.var <- length( objeto[[ i ]][[ 1 ]])
  max.var <- c( max.var, num.var )
}
max.var <- which( max.var == max(max.var ) )
names( objeto[[ max.var[ 5 ]]][[ 1 ]])

variables <- c()
for( i in 1:length( max.var ) ) {
  variable <- ( names( objeto[[ max.var[ i ]]][[ 1 ]]) )
  variables <- c( variables, variable )
}

variables <- unique( variables )
bibliodf <- rep( x = NA, length( objeto ) )

for( var in 1:length( variables ) ){
  variable <- c()

  for( i in 1:length( objeto ) ){
    nombres_variables <- objeto[[ i ]][[ 1 ]]
    if( sum( names( nombres_variables ) == variables[ var ] ) == 1 ){
      position <- which( names( nombres_variables ) == variables[ var ] )
      obs <- nombres_variables[[ position ]]
      variable <- c( variable, obs )
    } else{ variable <- c( variable, NA ) }
  }
  variable <- data.frame( variable )
  names( variable ) <- variables[ var ]
  bibliodf <- cbind( bibliodf, variable )
}

for( i in 1:length( objeto ) ){
  bibliodf[ i, 1 ] <- names( objeto[[ i ]][[ 1 ]])
}

names( bibliodf )[ 1 ] <- "refType"
return( bibliodf )
}

# Descomentar para usar la función
bibliografia <- biblioXML2DF( file = "../bibliografia/bibliofinal.xml" )
write.csv(x = bibliografia, file = "biblio.csv", row.names = FALSE )

```

La segunda función `absDummy` extrae de la variable `abstract` los resúmenes de las referencias almacenadas en la bibliografía. Es importante que cuando se prepare la bibliografía se guarden los resúmenes para poder emplear la función. En caso

Tabla 8.2: Ejemplo de términos elegidos por el investigador.

Inglés	Español
adaptation	adaptación
animalia	animalia
carbon	carbono
climate change	cambio climático
comparative study	estudio comparativo
conceptual framework	marco conceptual

de tener observaciones sin la variable `abstract` estas se eliminan y no formaran parte del conjunto final sobre el que se realizan los análisis bibliométricos.

Como resultado (*output*) de aplicar `absDummy` se obtiene un `data frame` que se compone de dos variables fijas (título y autor de la referencia) y un conjunto de términos presentes en los resúmenes. Desde el punto de vista de las observaciones, cada una de ellas se compone del título, el autor y un valor 1 en caso de aparecer el término en el resumen del documento consultado y un valor 0 en caso contrario. Es decir, el conjunto de datos resultantes es una tabla de presencias/ausencias para los términos acompañado de los autores y los títulos. Además, existe la opción de fijar el número mínimo de presencias para un término (`min.obs`) evitando así la presencia de términos anecdóticos en la bibliografía que podría perjudicar la calidad de los resultados.

Para utilizar `absDummy` es necesario una entrada (*input*) con los términos deseados en inglés y en castellano. Este paso de la metodología es completamente creativo y depende de los términos que el investigador considere revelantes. El archivo tiene que tener una extensión `.csv` y debe contener una primera columna con los términos en inglés y una segunda con su traducción en castellano (Tabla 8.2).

El código de `absDummy` es el siguiente:

```
absDummy <- function( data,términos, rm.na.abs, min.obs ) {
  data <- read.csv( data )
  términos <- read.csv( términos )

  # número de variables antes de añadir dummies
  OriginalLenth <- length( data )

  for (i in 1:nrow( términos ) ) {
    matchEn <- grepl( términos[ i, 1 ],
                     tolower( data$abstract ), fixed = TRUE )
    matchEs <- grepl( términos[ i, 2 ],
                     tolower( data$abstract), fixed = TRUE)
```



```

match <-matchEs == TRUE | matchEn == TRUE
data[ match,( length( data ) + 1 ) ] <- 1
data[ !match,( length( data ) ) ] <- 0
names( data )[( length( data ) ) ] <- términos[ i, 2 ]
}

##### eliminar variables sin coincidencias #####
nomatches <- c()
for( i in ( OriginalLenth + 1 ):length( data ) ) {
  noMatch <- sum( data[ i ] ) == 0
  nomatches <- c( nomatches, noMatch )
}

nomatches <- c( rep( FALSE, OriginalLenth ), nomatches )
data <- data[ !nomatches ]

##### eliminar NA de los abstracts #####

if( rm.na.abs == TRUE ){
  data <- data[ !is.na( data$abstract ), ]
}

data.title.index <- data[ , "title" ]
data.author.index <- data[ , "author" ]

##### mínimo de observaciones

frecuentes <- c()
for( i in ( OriginalLenth + 1 ):length( data ) ){
  if(sum( data[ , i ] ) >= min.obs )
    frecuentes <- c( frecuentes, i )
}

# print( paste( "términos con más de", min.obs, "observaciones:" ) )
# print( names( data )[ frecuentes ] )

return( cbind( data.title.index,
              data.author.index,
              data[ , frecuentes ] ) )
}

```

Como resultado de aplicar las funciones (`biblioMXL2DF` y `absDummy`) a la propia bibliografía son 35 términos los que cuanto mínimo aparecen en 6 referencias o el 3.82 % para un total de 157 referencias con resúmenes (Tabla 8.3).

Tabla 8.3: Términos con más de 6 observaciones.

adaptación	capital	economía	medio ambiente	sostenible
atmósfera	carbono	ecosistema	mercado	suelo
bacteria	ciclo	energía	natural	tierra
biodiversidad	contaminación	equilibrio	petróleo	vida
biosfera	crecimiento	evolución	planta	adaptación
biota	datos	hongo	simbio	atmósfera
cambio climático	desarrollo	humano	sol	bacteria

Tabla 8.4: Autovalores e inercia asociados a las primeras 6 dimensiones de MCA.

	vectores propios	porcentaje de la varianza	porcentaje acumulado de la varianza
dim 1	0.0105210	22.263794	22.26379
dim 2	0.0059641	12.620899	34.88469
dim 3	0.0044014	9.314013	44.19871
dim 4	0.0035634	7.540563	51.73927
dim 5	0.0035278	7.465320	59.20459
dim 6	0.0023507	4.974426	64.17901

8.3.2 Análisis de correspondencias múltiples (ACM) y agrupamiento por k -medias

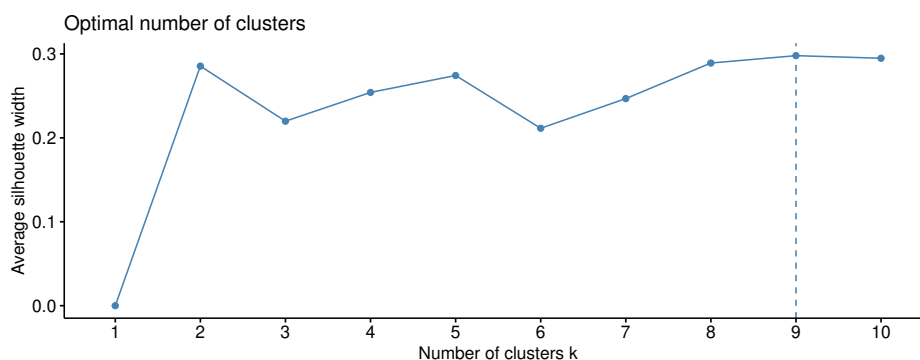


Figura 8.1: Número de grupos óptimo obtenido mediante el análisis de silueta.

Una vez el `data frame` de presencias y ausencias se ha generado se procede a realizar un análisis de correspondencias múltiples (MCA) con el método de Burt. El método de Burt genera una matriz de correspondencias que es el sumatorio de las coincidencias entre las diferentes categorías de cada variable, en este caso son dos categorías por variable (1 o 0). Además MCA requiere que se indique el número de dimensiones que se conservan en los resultados, que en este caso se han fijado 6 dimensiones al acumular más de 2/3 de la varianza en estas 6 dimensiones (Tabla 8.4). En cualquier caso hay que tener en cuenta que cuando

se aplique k -medias tan solo se tendrá en cuenta las dos primeras dimensiones para interpretar los resultados. El algoritmo utilizado para el MCA pertenece a la biblioteca Lê et al. (2008)

Una vez se ha realizado el análisis de correspondencias se seleccionan solo las presencias. El motivo se debe a que el objetivo es conocer la relación de los términos que aparecen en los resúmenes de la bibliografía, no siendo de utilidad y dificultando las ausencias de términos. Por ejemplo, si **cambio climático** y **biodiversidad** no aparecen en ciertas referencias puede deberse a muchos motivos, mientras que si aparecen conjuntamente en diferentes referencias se puede observar el porqué de dicha coincidencia.

Una vez se han establecido las correspondencias es posible agrupar los términos mediante k -medias de la biblioteca **stats** de R Core Team (2022). Para ello, se seleccionan las coordenadas de los individuos (cada elemento de la bibliografía) y de las variables (cada uno de los términos buscados). El resultado es un agrupamiento automático en conjuntos que permiten ver la relación de los términos en la bibliografía.

El agrupamiento con k -medias se ha realizado dos veces. En la primera se ha encontrado como las ausencias forman un grupo muy homogéneo porque la gran mayoría de los datos son ausencias. Por ello, se han eliminado las ausencias y solo se han agrupado mediante k -medias las presencias. En ambos casos se han realizado sobre las coordenadas de las variables, es decir, los términos.

En resumen, el método de k -medias genera una observación ideal para cada término o grupo (*cluster*) de la búsqueda y calcula su distancia al resto de términos agrupando los más cercanos en grupos más grandes que se pueden denominar agrupaciones de términos, es decir, permite observar que términos se utilizan conjuntamente en la comunidad científica, y por el lado contrario, cuales son más distante.

Que varios términos se encuentren cercanos aporta gran información para saber que campos del saber se encuentran más relacionados, pero también es muy interesante el estudio de los términos más lejanos, porque puede significar que el estudio de la interacción o relación de ambos no dispone de un concepto aglutinador, que dicho concepto es poco conocido por la comunidad, e incluso que son términos inconmensurables como puede suceder entre el flogisto y el oxígeno. Aunque en este último caso se podría hablar de una relación histórica, aunque no sea posible una reconstrucción racional de un relato que incluya a ambos.

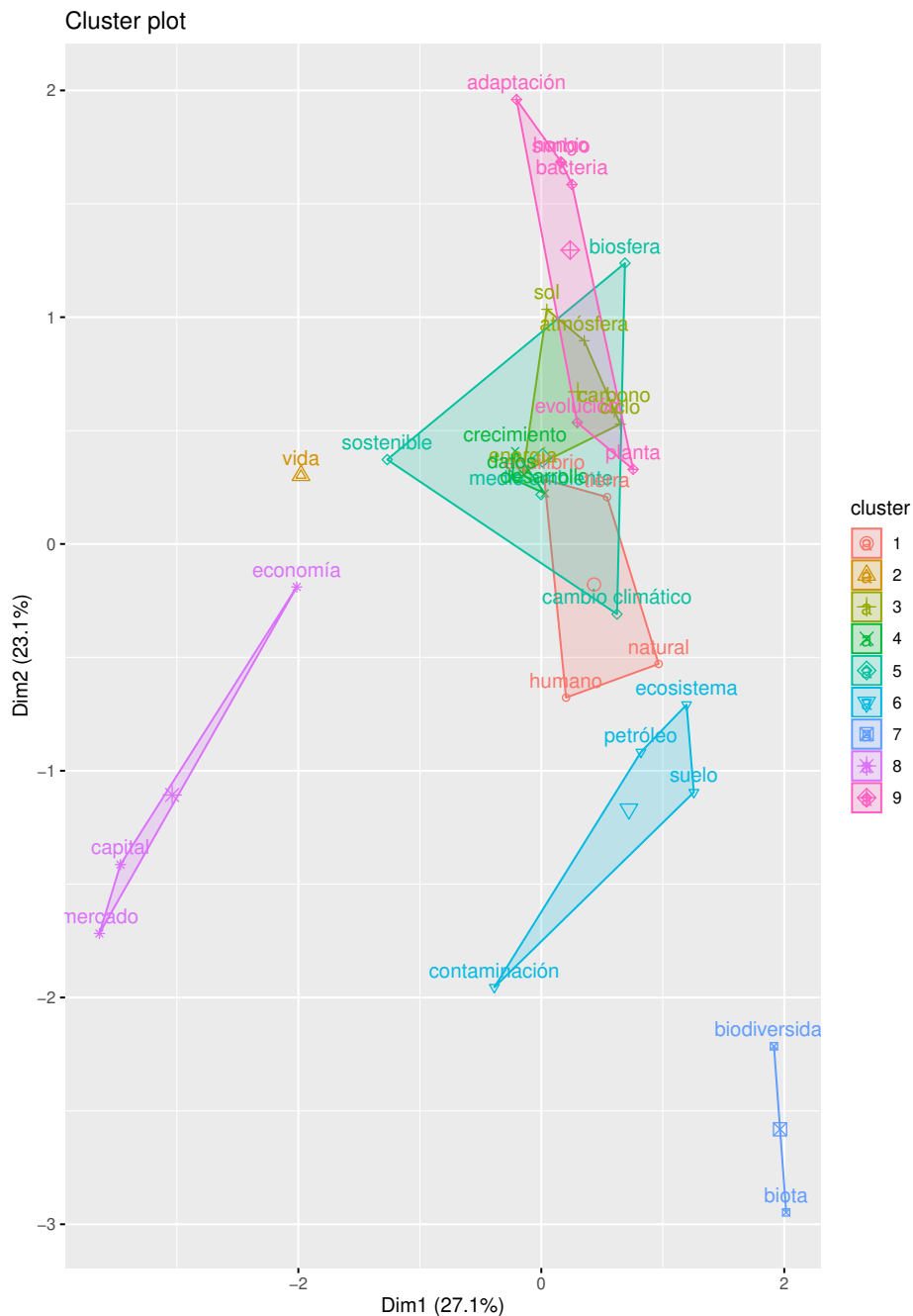


Figura 8.2: Grupos obtenidos con k -medias con semilla = 37.

Para seleccionar el número de grupos se puede hacer por criterios subjetivos, pero al final siempre ayuda tener un método cuantitativo, aunque no sea una verdad absoluta. En este caso se recurre al análisis de la silueta de la librería Kassambara y Mundt (2020). El análisis de la silueta calcula para diferente número de grupos (*clusters*) si las observaciones agrupadas se encuentran más cerca del centro de su grupo que de las observaciones pertenecientes a otros grupos. Lo ideal es que toda observación se encuentre más cerca del centro de su grupo, pero como esto no siempre es posible la prueba de la silueta indica cual

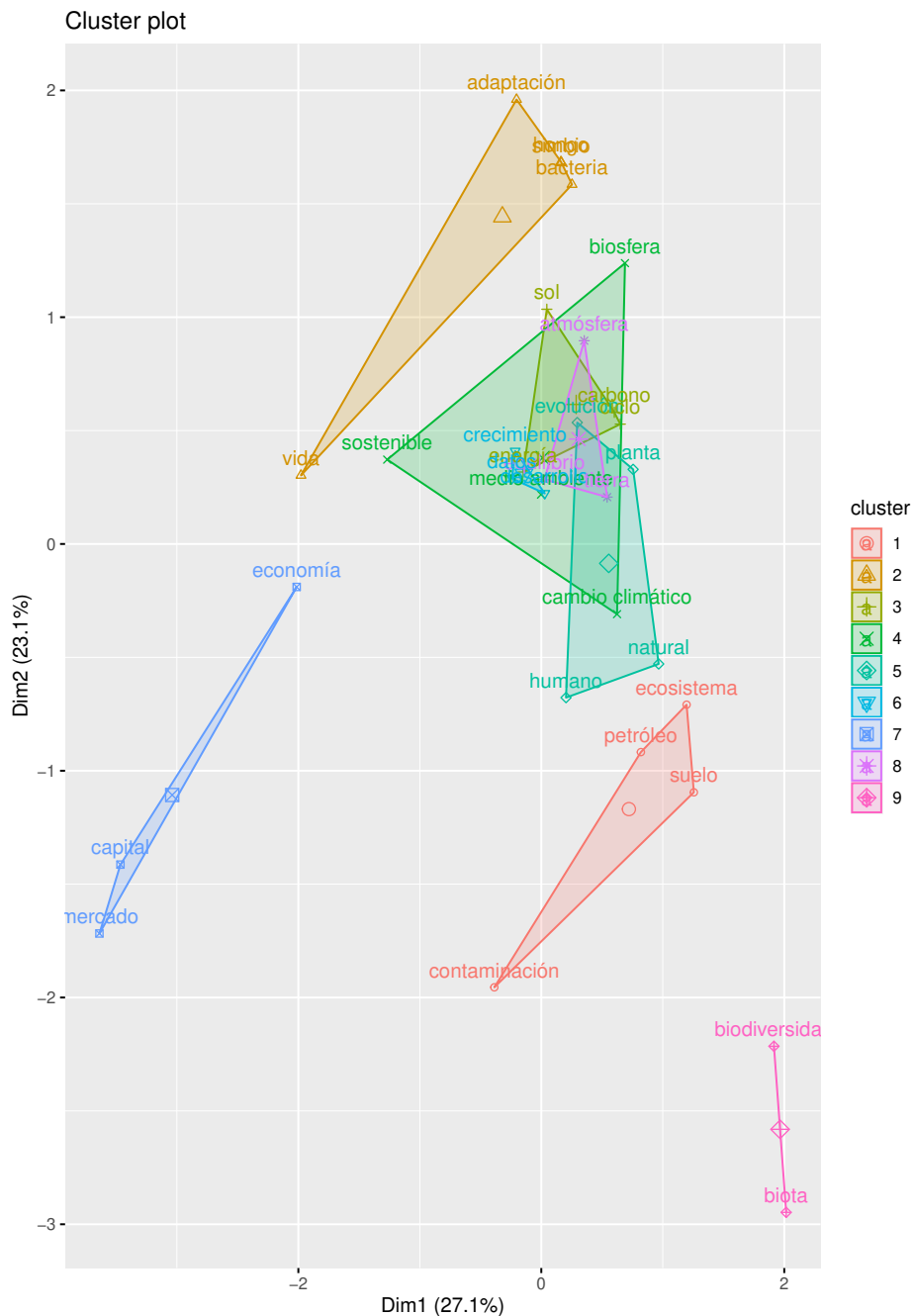


Figura 8.3: Grupos obtenidos con k -medias con semilla = 4437.

es el número de grupos que más se acerca a esta propiedad (Figura 8.1).

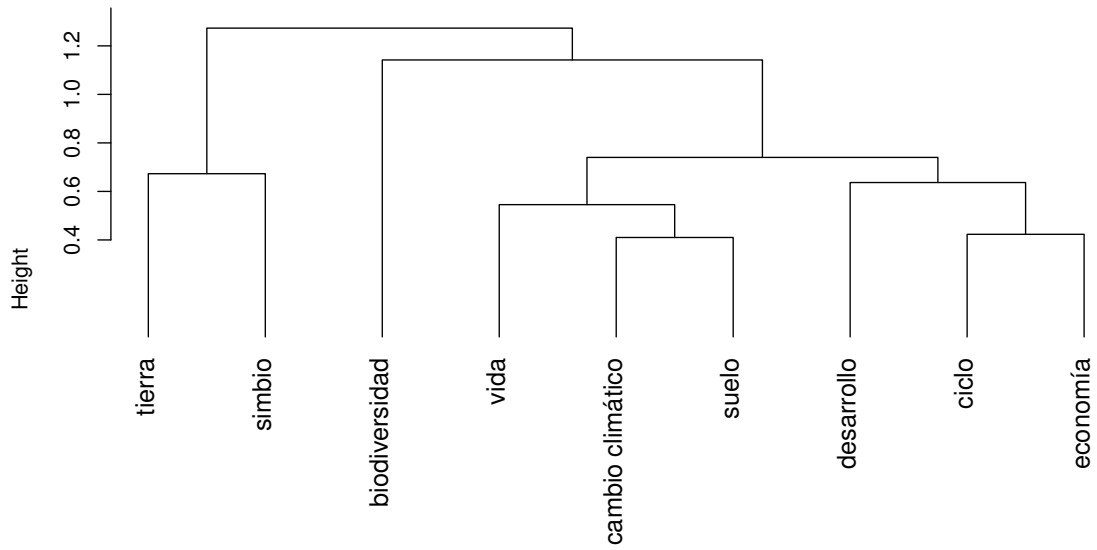
Una vez determinado el número de centros, cinco en el caso de este experimento, se procede al análisis de k -medias. Hay que tener en cuenta que los centros no son fijos y que los grupos pueden variar según la semilla que se utilice. En este caso para evitar problemas, pero a la vez para mostrar términos que se pueden agrupar de distinta forma se procede a utilizar primero una semilla aleatoria con valor 37 y posteriormente a repetir el análisis con una semilla de valor 4437

(Figuras 8.2 y 8.3).

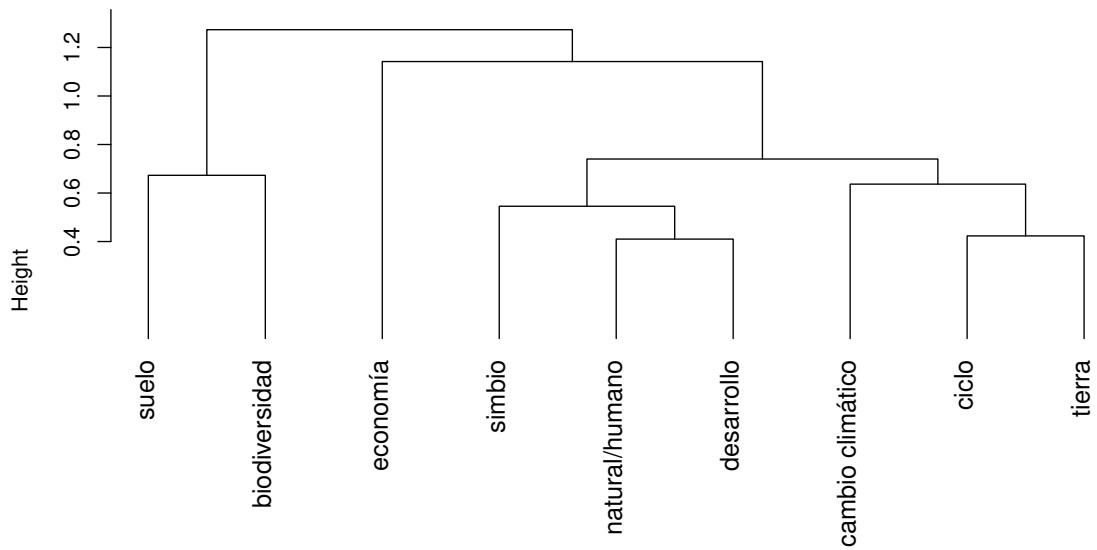
Junto a los gráficos resultantes de k -medias también se han generado dos dendrogramas a partir de las distancias de cada centro de los grupos, uno para cada semilla Figura 8.4. En este caso, aunque se representan las distancias de forma absoluta se tienen en cuenta las 6 dimensiones generadas por el análisis de correspondencias. Además se ha añadido una etiqueta a cada grupo representado en los dendrogramas que se corresponde con un término contenido en el grupo, tan solo ha habido un cambio por la semilla; con semilla 37 el término **vida** forma un grupo único, mientras que con la semilla 4437 ninguno de los términos seleccionados en la semilla 37 forma parte del grupo generado con los términos humano y natural.

Tabla 8.5: Grupos de términos obtenidos con ACM y k -medias.

	grupo 37	grupo 4437
natural	1	5
humano	1	5
equilibrio	1	8
tierra	1	8
vida	2	2
carbono	3	3
energía	3	3
sol	3	3
atmósfera	3	8
ciclo	3	3
crecimiento	4	6
desarrollo	4	6
datos	4	6
cambio climático	5	4
medio ambiente	5	4
sostenible	5	4
biosfera	5	4
contaminación	6	1
ecosistema	6	1
suelo	6	1
petróleo	6	1
biodiversidad	7	9
biota	7	9
capital	8	7
economía	8	7
mercado	8	7
adaptación	9	2
simbio	9	2
planta	9	5
hongo	9	2
bacteria	9	2
evolución	9	5



(a) Con semilla = 37



(b) Con semilla = 4437

Figura 8.4: Dendrogramas obtenidos a partir de los centroides de los grupos obtenidos con distinta aleatorización de k -medias, con las coordenadas de los 6 primeros dimensiones del ACM, recurriendo al criterio de agregación de Ward.

9. Conclusión

El marco conceptual propuesto en este estudio comparativo de teorías que pugnan por resolver los problemas del cambio climático y la pérdida de biodiversidad es de gran utilidad para la conceptualización de dichos problemas o anomalías. Pero ante todo el método debe servir para el propio estudio de las anomalías, y la adecuación de una metodología para el estudio o la aceptación de una serie de teorías que confoman una cualidad (no cuantificable) de la propia investigación.

Dicho de otro modo, el investigador o lector de una obra debe juzgar críticamente si la conceptualización es correcta aportando contra-argumentaciones que a su vez puedan ser contra-argumentadas, pero la aceptación o no de un paradigma o una explicación es independiente de su validez, y esta validez es una cualidad que ha de ser juzgada por el propio lector desde su punto de vista, no sobre si el paradigma “x” es concordante o no. Ahora bien, en caso de acudir a tal crítica se valida la calidad científica de la obra sin tener que compartir la aceptación por el paradigma propuesto en la obra.

Por ejemplo, en esta memoria se valida la calidad e importancia, aunque a veces la crítica sea mordaz, de la teoría sintética. Se niega que sea una alternativa de futuro y que pueda resolver y adaptarse a las condiciones actuales del conocimiento científico y anomalías a enfrentar; pero en ningún momento se duda de su importancia histórica o de las aportaciones y descubrimientos del paradigma, como puede ser el estudio de la Genética. Es más, la simbiogénesis utiliza la propia disciplina Genética para demostrar su viabilidad como paradigma, aunque esta disciplina fuera desarrollada bajo el paradigma de la teoría sintética; como sucede en el origen de las mitocondrias (Gray et al. 1999).

En el otro extremo se sitúa la excesiva cuantificación y sobre todo la obsesión con lo que se podría denominar el mito de la objetividad o de la existencia de métodos puramente objetivos. Una ampliación de esta temática esta en la subjetividad presente en la filogenia que es utilizada en Saether (1986) para demostrar el mito

del progreso; además otros autores especulan sobre infalsabilidad de la filogenia lo que podría poner a la simbiogénesis en mejor posición aun frente la teoría sintética (Fitzhugh 2016).

En cualquier caso atendiendo al meta-análisis se observa que en esta memoria se ha tratado la simbiosis en relación a los procariotas, los hongos y plantas, pero sobre todo en relación a la adaptación, la evolución y la vida (Tabla 8.5, y Figuras 8.2 y 8.3. Grupos 9 y 2 respectivamente).

El disparate de la objetividad ha llegado tan lejos que la inteligencia artificial, que artificial puede pero inteligente no, es capaz de pensar por nosotros a la hora de seleccionar la literatura, eso si con un “modelo” infalible salvo por la imposibilidad de eliminar la subjetividad humana (Vlačić et al. 2021). En esta memoria se ha trabajado bajo el concepto que el ser humano es parte de la biosfera y eso se ha visto reflejando en el meta-análisis puesto que en todos los cosas el ser humano aparece relacionado con natural (Tabla 8.5, y Figuras 8.2 y 8.3. Grupos 1 y 5 respectivamente). Es más aunque el cambio climático se agrupa con otros conceptos, se encuentra en referencias donde **humano** y **natural** son relevantes.

La asociación anterior puede estar influida en gran medida por la discusión desatada sobre si el cambio climático es natural o de origen antrópico, pero en esta memoria se ha tratado de hacer ver que no se puede considerar al ser humano fuera de la naturaleza, reflejándose en la cercanía de los términos **humano** y **natural** que pertenecen al mismo grupo (Figuras 8.2 y 8.3). Por otro lado, el término **humano** es uno de los términos más cercanos al término **contaminación** implicando la propia responsabilidad humana en la degradación del medio ambiente. En otras palabras, esta memoria define que el cambio climático es natural y humano a la vez, porque el ser humano es parte de la biosfera, y no un agente externo del resto de seres vivos.

Por otro lado, si se propusiese estudiar este asunto de forma académica lo normal sería estudiar y comprobar la metodología utilizada y si tiene coherencia o no, es decir, un análisis estructural. Pero una rigurosidad o coherencia interna no solo depende de factores objetivos, por el contrario incluye siempre factores humanos, como por ejemplo redactar una agenda de investigación en donde el conocimiento es un servicio de mercado, la universidad mercadillo, por mucho que lo patrocine *Microsoft Cognitive Services* (Furrer et al. 2020).

Seguramente la crítica al sistema económico actual como principal causa de la desadaptación de *Homo sapiens* del resto de la biosfera sea una de las partes más polémicas de la presente memoria, pero hay que tener en cuenta que la necesidad de hacer una economía sostenible o es fundamental para el desarrollo social y



Figura 9.1: Meme de la relación entre los términos **sostenible**, **mercado** y **economía**.

así afrontar el cambio climático. Sin embargo el mercado parece estar algo lejos de un objetivo de sostenibilidad, y la propia economía aunque intente ser una disciplina abierta al resto de conocimiento sigue en gran medida gobernada por el mercado (Figura 9.1).

No es que esta pequeña memoria, humilde al menos en intención, sea una redacción perfecta, esta es la primera vez que me enfrento a la redacción de un texto científico serio, en el que plasmo mis opiniones justificándolas mediante una metodología. Una metodología que en todo momento ha pretendido mantener el equilibrio entre el racionalismo académico de los Planes de Investigación Científica (PICs) de Irme Lakatos, a la vez que se ha llevado a cabo un desarrollo metodológico “dadá” como forma de reivindicar la importancia de la irracionalidad en el estudio científico.

El miedo, sí el miedo, a que un enfoque tan general de una cuestión que a día de hoy es uno de los principales retos de la humanidad, la desadaptación de *Homo sapiens* de la Biosfera, no aporte nada al avance de la cuestión dada ha estado presente a lo largo de la memoria. La cantidad de campos a conectar, las ideas y personas que colaboran en esta empresa llamada Ciencia es inconmensurable por propia definición epistemológica¹.

Haber optado por esta vía puramente teórica obviamente tiene justificación en la falta de presupuestos y de laboratorio; pero también de justicia hacia los investigadores que me precedieron y su trabajo, ellos no tenían acceso a una bibliografía tan extensa y a unas herramientas de computación tan precisas y potentes. Creo firmemente que en la necesidad mutua hemos tendido un puente en la historia, y espero humildemente que esta memoria ayude a nuevas

¹«En realidad, una de las objeciones más generales, no sólo contra el uso de teorías inconmensurables sino incluso contra la idea de que existan tales teorías en la historia de la ciencia, es el miedo de que restringirían severamente la eficacia de la argumentación tradicional no dialéctica» (Feyerabend 1986 p. 157).

generaciones de científicos (precarios) a contextualizar la gran cantidad de información ya disponible, a contribuir al enriquecimiento de sus disciplinas y a comprender mejor el valor de otras forma de conocimiento en el desarrollo de la actividad científica.

Un quebradero de cabeza, por supuesto ha sido tedioso acceder a algunas obras, en algunos casos como en Dokutchaeu (1893), obra a la que solo se ha podido acceder a través de autores previos (Simonson 1997). En otros casos, la información era tan extensa, que haberla tenido toda en cuenta hubiera superado el tamaño y trabajo de cualquier proyecto de actividad doctoral, como las propias discusiones epistemológicas entre Kuhn, Lakatos y Feyerabend² (Feyerabend 2009, Lakatos et al. 2018, 2018).

En todo momento, la sensación de estar simplificando los hechos históricos y científicos se ha entremezclado con la necesidad de aclarar que el código y el uso de herramientas informáticas es parte del proceso de persuasión, pues la Bibliometría son un conjunto de métodos que permiten medir, pero no hacer juicios de valor. Los juicios de valor son producto del trabajo más delicado de cualquier ser humano y nunca podrá ser delegado en las matemáticas, aunque estas sean un gran apoyo.

Respecto a la bibliometría, el uso que se le da a **bibliometrix** es el de inferir relaciones de términos del estado actual de la investigación respecto a ciertos temas, pero en ningún caso se pretende sustituir la bibliografía generada a partir de la lectura y la escritura del relato por la obtenida de un modelo. No es correcto desde un punto de vista metodológico tratar la subjetividad como un problema a eliminar y no como un fenómeno que se da en la naturaleza, al menos humana.

De hecho de aquí viene mi mayor preocupación a la hora de exponer mis tesis sobre Biodiversidad y Gestión Ambiental, el uso de una estructura caótica del texto y de múltiples justificaciones (empíricas, racionales, bibliométricas...), a las que no solemos estar acostumbrados en la academia puede llevar al lector a un juicio negativo de la memoria por motivos de forma y no de contenido, a pesar de contar con un capítulo entero que justifica el uso de una forma dadaísta o irracional. Pero también existe la preocupación de haberme perdido en mi propio laberinto y no haber podido argumentar y transmitir los pensamientos de manera correcta. De forma irracional creo que la mejor explicación este sentimiento es mediante Figura 9.2.

²«Por el contrario, el conocimiento es un océano, siempre en aumento, de alternativas incompatibles entre sí (y tal vez incommensurables); toda teoría particular, todo cuento de hadas, todo mito, forman parte del conjunto que obliga al resto a una articulación mayor, y todos ellos contribuyen, por medio de este proceso competitivo, al desarrollo de nuestro conocimiento» (Feyerabend 1986 p. 14).

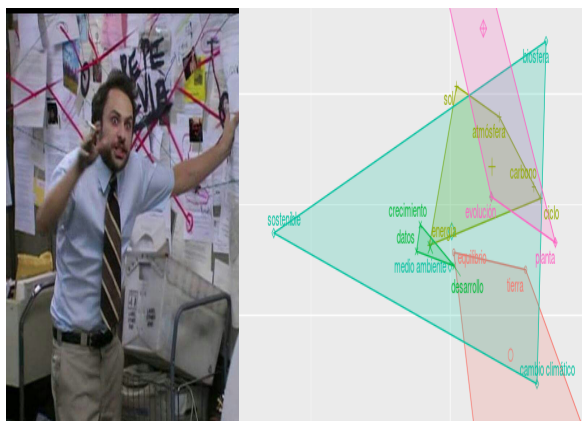


Figura 9.2: Meme que refleja el proceso de interpretación y reconstrucción racional a partir de los resultados.

Si las convenciones que nos han llevado a la construcción de una comunidad científica son más o menos importantes que la herejía y el cuestionamiento sistemático del cuerpo teoría existente, es una respuesta que depende de cada persona, pues a diferencia del primer principio del método cartesiano³ en esta memoria se ha asumido que la verdad no es fija e inmutable, y no existe fuera del contexto humano.

Entonces ¿Cómo se puede enunciar una tesis, una afirmación verdadera sobre la naturaleza? No tengo una respuesta para esta pregunta. Esta falta de respuesta se puede ver patente en los titubeos en algunas partes de la memoria y pido disculpas por no haber podido dar una respuesta racional, pero aún así este escepticismo hasta con las propias ideas defendidas puede ser la parte más científica de toda la memoria.

Por otra parte y recordando la propia tesis de Latour la Ciencia no es un conocimiento commensurable a otras disciplinas y por tanto ni mejor ni peor (Latour y Woolgar 1995). Por este motivo, mi más encarecida disculpa a los poetas que podrán apreciar como esos mismos titubeos han llevado en muchos casos a teatralidades demasiado forzadas y a la culpa por la realización de las mismas, cuando la poesía solo exige una cosa: transmitir una verdad humana.

Profundizando en la cuestión, la Ciencia es una disciplina humana y debe centrarse desde una perspectiva humanista. La locura desatada con el cambio climático que es un problema serio y por tanto ha de ser tratado con la inteligencia que requiere; pero, por desgracia, la situación ha derivado hacia un tecno-optimismo, la sobredimensión de recursos y una falta total de rigor

³«El primero, no admitir jamás cosa alguna como verdadera sin haber conocido con evidencia que así era». Primer principio del *Discurso sobre el método de método para conducir bien la propia razón y buscar la verdad en las ciencias* de René Descartes.

a la hora de repartir fondos por parte de las administraciones publicas; junto al aumento de la productividad, la bajada de la calidad científica y el empeoramiento de la calidad de vida en las personas que se dedican a la Ciencia (Nikkola y Tervasmäki 2020). Todos estos problemas se deben al pretender gestionar cada interacción social como parte del mercado, incluyendo la propia academia.

En adicción al problema de la organización social y económica como se ha mostrado en el capítulo sobre la Noosfera (Capítulo 5), la economía ha influenciado en la Biología y en el desarrollo de la Estadística, esta ciencia social ha sido fundamental en crear el mundo actual, tanto las soluciones (aumento de la esperanza de vida, nivel de renta...), pero también los problemas (contaminación, plástico en los mares, agotamiento de recursos fósiles...). De hecho, a pesar de que la Economía en el meta-análisis se encuentra en un grupo con los términos **mercado** y **capital** también se relaciona con términos como **vida**, **sostenible**, y será una disciplina fundamental en la adaptación del ser humano al cambio climático (Figuras 8.2 y 8.3).

En cuanto a la gestión de la energía, dicha gestión durante los últimos siglos y en particular en los últimos años ha sido deficiente, por un simple error en la teoría pero que invalida gran parte del cuerpo teórico de la Economía, el crecimiento infinito en un planeta finito (Network 2011). En el meta-análisis el término **energía** ha sido central, relacionándose por un lado con el crecimiento, tanto económico como biológico como con los propios ciclos biogeoquímicos terrestres fundamentales para la vida y la biosfera como se ha podido comprobar en el Capítulo 3 (Tabla 8.5, y Figuras 8.2 y 8.3. Grupo 3 en ambos casos).

Ante esta situación, ciencias como son Ecología o la Edafología no pueden contradecir su propio cuerpo teórico ni los resultados de los experimentos realizados, por el contrario han de dar una explicación humana a un problema sin dejar de lado la rigurosidad de la experimentación, así como el tratado de los resultados de dicha investigación (Empirismo).

La relación entre el suelo y los ecosistemas es fundamental para entender el sistema tierra como se defiende en Herreño et al. (2023), pero es más esta idea queda plasmada en la memoria gracias a que Huguet del Vilar introdujera la Edafología y la Ecología en España (Porta-Casanellas et al. 2003). Así que en Figura 9.3 se hace un pequeño homenaje a este pionero que aunque no ha aparecido previamente en esta memoria ha sido fundamental para su desarrollo.

Por último, después de un pequeño repaso a alguno de los temas más importantes expuestos en esta memoria acompañados de la interpretación del meta-análisis se

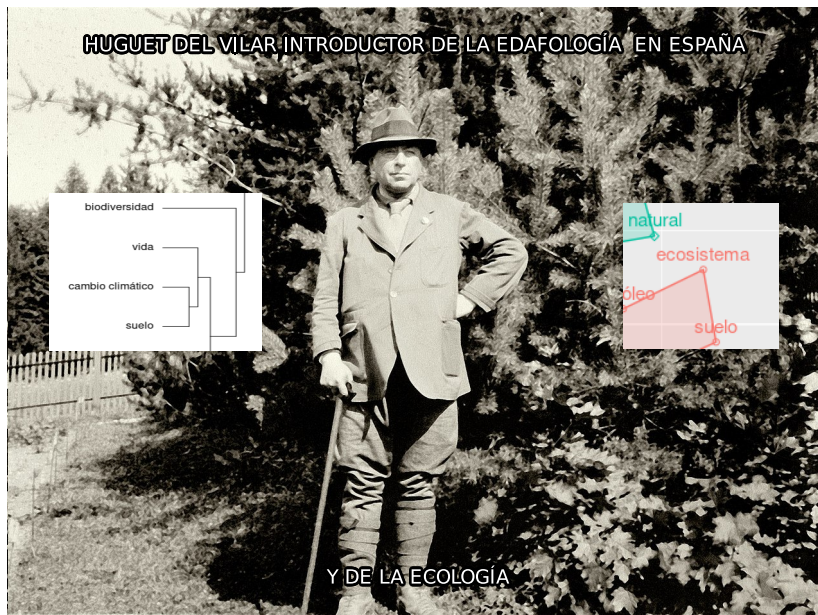


Figura 9.3: Meme que juega con la imagen de Huguet del Vilar y los resultados del meta-análisis.

presenta una reformulación de las ideas planteadas en el comienzo de la memoria. Las cuatro tesis fundamentales que se exponen y defienden en la construcción del relato son:

1. Una integración de la Edafosfera en la Biosfera como ejemplo de mediación entre la biota y el medio ambiente.

Primera tesis, La Biosfera es el objeto de estudio de la Biodiversidad y la Gestión Ambiental integrando los seres vivos y el medio ambiente en un solo objeto de estudio.

2. La evolución mediante simbiogénesis es fundamental para comprender la Biodiversidad.

Segunda tesis, la crisis medioambiental y la pérdida de Biodiversidad son el mismo fenómeno que consiste en la alteración de la Biosfera poniendo en marcha la selección natural.

3. Las generalizaciones empíricas como límites científicos. Los límites de un planeta finito.

Tercera tesis, el estudio de la Biosfera se basa en los límites naturales y de la propia actividad científica.

4. La subjetividad humana en la elaboración de las teorías científicas: La Noosfera.

Cuarta tesis, *Homo sapiens* se encuentra en un proceso de desadaptación de la Biosfera siendo el cambio climático la conceptualización de dicha desadaptación.

La necesidad de un objeto de estudio es fundamental para la constitución de una disciplina y más para el doctor que pretende tener un conocimiento excelso de la misma, si no sabemos que estudiamos no podemos estudiar. La aglutinación de los seres vivos y su medio ambiente en la Biosfera es lo que permite la actividad científica en Biodiversidad y Gestión Ambiental.

Además es fundamental que la Biosfera integre el resto de cuerpos naturales que se estudian en las ciencias Ambientales. En el caso concreto de la Edafología, se ha propuesto la Edafosfera como esfera integrada dentro de la Biosfera bajo el paradigma de Dokutchaev asumen la biota como parte conformacional del objeto de estudio Suelo.

En torno a la simbiogénesis, no cabe duda que una visión de una naturaleza que mediante el contacto físico genera variabilidad de individuos es una defensa más ferviente de la Biodiversidad que una visión basada en la competencia de moléculas en una naturaleza salvaje y despiadada (Dawkins 2017).

La hipótesis nula presentada en el prefacio como realidad⁴ que desesperadamente tratamos de resolver se debe a nuestra necesidad de adaptarnos a la Biosfera, pero la misma Biosfera ha de ser entendida como una casa (Eco-) y una casa no es un problema a solucionar, por el contrario es el resultado del contacto continuo de los seres vivos en un espacio (superficie terrestre) y en un tiempo dado (historia).

Continuará...

⁴El cambio climático NO tiene solución (H_0)

Referencias

- Abad-Segura, E., M.-D. González-Zamar, J. C. Infante-Moro, y G. Ruipérez García. 2020. [Sustainable management of digital transformation in higher education: Global research trends](#). *Sustainability* 12:2107.
- Adami, C. 2004. [Information theory in molecular biology](#). *Physics of Life Reviews* 1:3-22.
- Aria, M., y C. Cuccurullo. 2017. [bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis](#). *Journal of Informetrics* 11:959-975.
- Batty, M., R. Morphet, P. Masucci, y K. Stanilov. 2014. [Entropy, complexity, and spatial information](#). *Journal of Geographical Systems* 16:363-385.
- Bazerman, C., y R. A. De los Santos. 2005. [Measuring incommensurability: Are toxicology and ecotoxicology blind to what the other sees](#). *Rhetoric and incommensurability*:424-463.
- Berkner, L., y L. Marshall. 1964. The history of growth of oxygen in the earth's atmosphere. Página 102 *The origin and evolution of atmospheres and oceans*.
- Bhuiyan, M. A., M. Jabeen, K. Zaman, A. Khan, J. Ahmad, y S. S. Hishan. 2018. [The impact of climate change and energy resources on biodiversity loss: Evidence from a panel of selected Asian countries](#). *Renewable energy* 117:324-340.
- Bonneuil, C. 2015. [The geological turn: narratives of the Anthropocene](#). Páginas 17-31 *The Anthropocene and the global environmental crisis*. Routledge.
- Boyce, K. J., y A. Andrianopoulos. 2015. [Fungal dimorphism: the switch from hyphae to yeast is a specialized morphogenetic adaptation allowing colonization of a host](#). *FEMS Microbiology Reviews* 39:797-811.
- Burke, A., M. C. Peros, C. D. Wren, F. S. R. Pausata, J. Riel-Salvatore, O. Moine, A. de Vernal, M. Kageyama, y S. Boisard. 2021. [The archaeology of climate change: The case for cultural diversity](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118.
- Casanova, E. L., y M. K. Konkel. 2020. [The developmental gene hypothesis for punctuated equilibrium: combined roles of developmental regulatory genes and transposable elements](#). *Bioessays* 42:1900173.

- Castillo, L. F. del, y P. Vera-Cruz. 2011. [Thermodynamic Formulation of Living Systems and Their Evolution](#). Journal of Modern Physics 02:379-391.
- Chen, L., M. Ma, y X. Xiang. 2023. [Decarbonizing or illusion? How carbon emissions of commercial building operations change worldwide](#). Sustainable Cities and Society 96:104654.
- Chertov, O., M. Nadporozhskaya, M. Palenova, I. Pripulina, y others. 2018. Edaphology in the structure of soil science and ecosystem ecology. Russian journal of ecosystem ecology 3.
- Ciani, A., K.-U. Goss, y R. P. Schwarzenbach. 2005. [Light penetration in soil and particulate minerals](#). European Journal of Soil Science 56:561-574.
- Costanza, R. 1992. Ecological economics: the science and management of sustainability. Columbia University Press.
- Cousins, I. T., J. H. Johansson, M. E. Salter, B. Sha, y M. Scheringer. 2022. [Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per-and Polyfluoroalkyl Substances \(PFAS\)](#). Environmental Science & Technology.
- Cowie, R. H., P. Bouchet, y B. Fontaine. 2022. [The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation?](#) Biological Reviews.
- Cox, A. N., editor. 1999. Allen's Astrophysical Quantities. Cuarta edición. Springer, New York, NY.
- Crutzen, P. J. 2021. [The «anthropocene»](#). Páginas 13-18 Earth system science in the anthropocene. Springer.
- D'Odorico, P., A. Bhattachan, K. F. Davis, S. Ravi, y C. W. Runyan. 2013. [Global desertification: drivers and feedbacks](#). Advances in water resources 51:326-344.
- Dalla Costa, L., D. Vinciguerra, L. Giacomelli, U. Salvagnin, S. Piazza, K. Spinella, M. Malnoy, C. Moser, y U. Marchesi. 2022. [Integrated approach for the molecular characterization of edited plants obtained via *Agrobacterium tumefaciens*-mediated gene transfer](#). European Food Research and Technology 248:289-299.
- Dawkins, R. 2017. El Gen Egoísta Extendido. (G. editorial Bruño S. L., Ed.). 4ª Edición. Salvat.
- Deming, D. 2023. [M. King Hubbert and the rise and fall of peak oil theory](#). AAPG Bulletin 107:851-861.
- Dobzhansky, T. 1982. [Genetics and the Origin of Species](#). Columbia university press.
- Dokutchayev, V. V. 1893. The Russian Steppes: Study of the soil in Russia, its past and present. Department of Agriculture, Ministry of Crown Domains.
- Donthu, N., S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey, y W. M. Lim. 2021. [How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines](#). Journal of Business Research 133:285-296.

- Duchaufour, P., y B. Souchier. 1984a. Evolución de la fracción mineral, alteración y génesis de las arcillas. *en* M. S. A, editor. Edafología: 1. Edafogenesis y clasificación/por Philippe Duchaufour y Bernard Souchier. Masson, Barcelona.
- Duchaufour, P., y B. Souchier. 1984b. Transporte de materia en el suelo. *en* M. S. A, editor. Edafología: 1. Edafogenesis y clasificación/por Philippe Duchaufour y Bernard Souchier. Masson, Barcelona.
- Dungan, G. H., A. L. Lang, y J. W. Pendleton. 1959. [Corn Plant Population In Relation To Soil Productivity](#):435-473.
- Edmond, J., y G. N. Folan. 2017. [Data, Metadata, Narrative. Barriers to the Reuse of Cultural Sources](#):253-260.
- Ellegaard, O., y J. A. Wallin. 2015. [The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact?](#) *Scientometrics* 105:1809-1831.
- Ermakov, V., y Y. V. Kovalsky. 2018. [Living matter of the biosphere: mass and chemical elemental composition](#). *Geochemistry International* 56:969-981.
- Fage-Butler, A., L. Ledderer, y K. H. Nielsen. 2022. [Public trust and mistrust of climate science: A meta-narrative review](#). *Public Understanding of Science* 31:832-846.
- Fan, Z., Y. Wu, X. Wang, T. Li, J. Gao, y others. 2019. [Effects of symbiotic fungi on seed germination of interspecific hybrid progenies in Orchidaceae](#). *Chinese Journal of Plant Ecology* 43:374-382.
- Fet, V. 2021. [Lynn Margulis and Boris Kozo-Polyansky: How the Symbiogenesis was translated from Russian](#). *Biosystems* 199:104316.
- Feyerabend, P. K. 1986. [Tratado Contra El Metodo/ Against Method: Esquema De Una Teoria Anarquista Del Conocimiento / Outline of an anarchistic theory of knowledge \(Filosofia ... / Philosophy and Essay\) \(Spanish Edition\)](#). Tecnos Editorial S A, Madrid.
- Feyerabend, P. K. 1991. *Limites de la Ciencia*. Ediciones Paidos Iberica.
- Feyerabend, P. K. 2009. Tesis a favor del anarquismo. Páginas 9-16 ¿Por qué no Platón? Tercera edición. Tecnos.
- Filippelli, G. M. 2002. [The global phosphorus cycle](#). *Reviews in mineralogy and geochemistry* 48:391-425.
- Finocchiaro, M. A. 2021. [Feyerabend's Against Method: Rationalism vs. Pseudo-irrationalism](#). Páginas 389-405 *Science, Method, and Argument in Galileo*. Springer International Publishing.
- Fischer, J., A. D. Manning, W. Steffen, D. B. Rose, K. Daniell, A. Felton, S. Garnett, B. Gilna, R. Heinsohn, D. B. Lindenmayer, y others. 2007. [Mind the sustainability gap](#). *Trends in ecology & evolution* 22:621-624.
- Fisher, M. 2016. [«Realismo capitalista» ¿No hay alternativa?](#) Caja negra, Buenos Aires.

- Fitzhugh, K. 2016. [Phylogenetic hypotheses: neither testable nor falsifiable](#). *Evolutionary Biology* 43:257-266.
- Fraile, G. 1997. [Historia de la Filosofía: I. Grecia Y Roma](#). Páginas 143-149. Séptima edición. Biblioteca de autores cristianos.
- Fronk, D. C., y J. L. Sachs. 2022. [Symbiotic organs: the nexus of host–microbe evolution](#). *Trends in Ecology & Evolution* 37:599-610.
- Furrer, O., J. Y. Kerguignas, C. Delcourt, y D. D. Gremler. 2020. [Twenty-seven years of service research: a literature review and research agenda](#). *Journal of Services Marketing* 34:299-316.
- Génova, G., H. Astudillo, y A. Fraga. 2016. [The scientometric bubble considered harmful](#). *Science and Engineering Ethics* 22:227-235.
- Ghosh, W., y B. Dam. 2009. [Biochemistry and molecular biology of lithotrophic sulfur oxidation by taxonomically and ecologically diverse bacteria and archaea](#). *FEMS Microbiology Reviews* 33:999-1043.
- Giordano, L., F. Sillo, M. Garbelotto, y P. Gonthier. 2018. [Mitonuclear interactions may contribute to fitness of fungal hybrids](#). *Scientific Reports* 8:1-7.
- Girón, Á. 2008. Darwinismo y política.
- Göktürk, E. 2005. [What is «paradigm»](#). Department of Informatics, University of Oslo.
- Goldblatt, C., T. M. Lenton, y A. J. Watson. 2006. [Bistability of atmospheric oxygen and the Great Oxidation](#). *Nature* 443:683-686.
- Gómez-Gil, C. 2018. [Objetivos de Desarrollo Sostenible \(ODS\): una revisión crítica](#). *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global* 140:107-118.
- Gordin, M. D. 2011. [How lysenkoism became pseudoscience: dobzhansky to velikovsky](#). *Journal of the History of Biology* 45:443-468.
- Gould, S. J., y N. Eldredge. 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. *Models in paleobiology* 1972:82-115.
- Gould, S. J., y N. Eldredge. 1977. [Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered](#). *Paleobiology* 3:115-151.
- Gray, M. W., G. Burger, y B. F. Lang. 1999. [Mitochondrial evolution](#). *Science* 283:1476-1481.
- Grimes, D. R., C. T. Bauch, y J. P. Ioannidis. 2018. [Modelling science trustworthiness under publish or perish pressure](#). *Royal Society open science* 5:171511.
- Grognet, P., y P. Silar. 2015. [Maintaining heterokaryosis in pseudo-homothallic fungi](#). *Communicative & Integrative Biology* 8:e994382.
- Guilhot, R., A. Rombaut, A. Xuéreb, K. Howell, y S. Fellous. 2019. [Environmental specificity and evolution in Drosophila-bacteria symbiosis](#). *bioRxiv*:546838.

- Gürçam, S. 2022. [The Neoliberal Initiative of the Aviation Industry to Fight the Climate Crisis: Greenwashing](#). *International Journal of Environment and Geoinformatics* 9:178-186.
- Han, J., J. Miao, G. Du, D. Yan, y Z. Miao. 2021. [Can market-oriented reform inhibit carbon dioxide emissions in China? A new perspective from factor market distortion](#). *Sustainable Production and Consumption* 27:1498-1513.
- Hanaček, K., B. Roy, S. Avila, y G. Kallis. 2020. [Ecological economics and degrowth: Proposing a future research agenda from the margins](#). *Ecological Economics* 169:106495.
- Hancock, Z. B., E. S. Lehmborg, y G. S. Bradburd. 2021. [Neo-darwinism still haunts evolutionary theory: A modern perspective on Charlesworth, Lande, and Slatkin \(1982\)](#). *Evolution* 75:1244-1255.
- Harrison, M., y E. A. Bell. 2020. [A Plan For Detecting Evidence of Hadean Life](#). Páginas P030-03 AGU Fall Meeting Abstracts.
- Henry, D. 2006. [Aristotle on the Mechanism of Inheritance](#). *Journal of the History of Biology* 39:425-455.
- Herreño, B., F. de la Colina, y M. J. Delgado-Iniesta. 2023. [Edaphosphere: A Perspective of Soil Inside the Biosphere](#). *Earth* 4:691-697.
- Hill, E., y L. Ma. 2021. [The fracking concern with water quality](#). *Science* 373:853-854.
- Hirsch, J. E. 2005. [An index to quantify an individual's scientific research output](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102:16569-16572.
- Höök, M., U. Bardi, L. Feng, y X. Pang. 2010. [Development of oil formation theories and their importance for peak oil](#). *Marine and Petroleum Geology* 27:1995-2004.
- Hotez, P. J. 2020. [Anti-science extremism in America: escalating and globalizing](#). *Microbes and Infection* 22:505-507.
- Huang, D., Y. Xu, F. Lei, X. Yu, Z. Ouyang, Y. Chen, H. Jia, y X. Guo. 2021. [Degradation of polyethylene plastic in soil and effects on microbial community composition](#). *Journal of Hazardous Materials* 416:126173.
- Ibáñez, J. J., P. V. Krasilnikov, y A. Saldana. 2012. [Archive and refugia of soil organisms: applying a pedodiversity framework for the conservation of biological and non-biological heritages](#). *Journal of Applied Ecology* 49:1267-1277.
- Ibáñez, J. J., M. R. Ramos, J. Zinck, y A. Brú. 2005. [Classical pedology questioned and defended](#). *EURASIAN SOIL SCIENCE C/C OF POCHVOVEDENIE* 38:S75.
- Jenny, H. 1946. [Arrangement of soil series and types according to functions of soil-forming factors](#). *Soil Science* 61:375-392.

- Jenny, H. 1961. [Derivation of State Factor Equations of Soils and Ecosystems](#). Soil Science Society of America Journal 25:385-388.
- Jenny, H. 1968. [The image of soil in the landscape art, old and new](#). Organic matter and soil fertility.
- Jessop, B. 2017. [On academic capitalism](#). Critical Policy Studies 12:104-109.
- Johnson, N. M., y M. R. R. Oliveira. 2019. [Venus Atmospheric Composition In Situ Data: A Compilation](#). Earth and Space Science 6:1299-1318.
- Johnson, S. C. 1967. [Hierarchical clustering schemes](#). Psychometrika 32:241-254.
- Kallis, G., V. Kostakis, S. Lange, B. Muraca, S. Paulson, y M. Schmelzer. 2018. [Research on degrowth](#). Annual Review of Environment and Resources 43:291-316.
- Kaplaner, C., y Y. Steinebach. 2022. [Why we should use the gini coefficient to assess punctuated equilibrium theory](#). Political Analysis 30:450-455.
- Kassambara, A., y F. Mundt. 2020. [factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses](#).
- Kerr, R. A. 2011. [Peak Oil Production May Already Be Here](#). Science 331:1510-1511.
- Kleidon, A. 2009. [Nonequilibrium thermodynamics and maximum entropy production in the Earth system](#). Naturwissenschaften 96:1-25.
- Kleidon, A. 2021. [What limits photosynthesis? Identifying the thermodynamic constraints of the terrestrial biosphere within the Earth system](#). Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics 1862:148303.
- Knapp, C. N., R. S. Reid, M. E. Fernández-Giménez, J. A. Klein, y K. A. Galvin. 2019. [Placing transdisciplinarity in context: A review of approaches to connect scholars, society and action](#). Sustainability 11:4899.
- Kosoy, N., P. G. Brown, K. Bosselmann, A. Duraiappah, B. Mackey, J. Martinez-Alier, D. Rogers, y R. Thomson. 2012. [Pillars for a flourishing Earth: planetary boundaries, economic growth delusion and green economy](#). Current Opinion in Environmental Sustainability 4:74-79.
- Krópotkin, P. 2005. [El apoyo mutuo: un factor de la evolución](#). Páginas 35-55 Santiago de Chile: Instituto de Estudios Anarquistas. Instituto de Estudios Anarquistas.
- Kuhn, T. S. 1971. [La estructura de las revoluciones científicas](#). FCE México.
- Kuhn, T. S. 1993. [Metaphor in science](#). Páginas 533-542. Segunda edición. Cambridge University Press.
- Kuhn, T. S. 2018. Historia de la Ciencia y sus reconstrucciones racionales. Páginas 81-95 *en* T. (Grupo Anaya S.A), editor. 4ª Edición (reimpresión). Tecnos.
- Kutschera, U., y R. Khanna. 2022. [The origin of chloroplasts: Constantin](#)

- S. Merezhkowsky (1855–1921) and symbiogenesis. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 31:178-184.
- Lakatos, I., H. Feigl, R. J. Hall, K. Noretta, y T. S. Kuhn. 2018. *Historia de la Ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Cuarta edición. Tecnos.
- Lal, R., W. Negassa, y K. Lorenz. 2015. [Carbon sequestration in soil](#). *Current Opinion in Environmental Sustainability* 15:79-86.
- Latour, B. 2007. [Nunca fuimos modernos](#). (V. Goldstein, Ed.). Siglo Veintiuno, Avellaneda, Argentina.
- Latour, B., y S. Woolgar. 1995. *La vida en el laboratorio, La construcción de los hechos científicos*. (A. Editorial, Ed.). Alianza Universal.
- Lê, S., J. Josse, y F. Husson. 2008. [FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis](#). *Journal of Statistical Software* 25.
- Leovy, C. 2001. [Weather and climate on Mars](#). *Nature* 412:245-249.
- Li, H., Y. Tian, N. Menolli, L. Ye, S. C. Karunarathna, J. Perez-Moreno, M. M. Rahman, M. H. Rashid, P. Phengsintham, L. Rizal, T. Kasuya, Y. W. Lim, A. K. Dutta, A. N. Khalid, L. T. Huyen, M. P. Balolong, G. Baruah, S. Madawala, N. Thongklang, K. D. Hyde, P. M. Kirk, J. Xu, J. Sheng, E. Boa, y P. E. Mortimer. 2021. [Reviewing the world's edible mushroom species: A new evidence-based classification system](#). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 20:1982-2014.
- Liang, J.-L., J. Liu, P. Jia, T. Yang, Q. Zeng, S. Zhang, B. Liao, W. Shu, y J. Li. 2020. [Novel phosphate-solubilizing bacteria enhance soil phosphorus cycling following ecological restoration of land degraded by mining](#). *The ISME journal* 14:1600-1613.
- Lin, X., y J. Heitman. 2014. [Mechanisms of Homothallism in Fungi and Transitions between Heterothallism and Homothallism](#):35-57.
- Lovelock, J. 1995. *Edades de Gaia*. Segunda edición. Tusquets Barcelona.
- Lovelock, J. E. 1989. [Geophysiology, the science of Gaia](#). *Reviews of Geophysics* 27:215.
- Lu, J., X. Mao, M. Wang, Z. Liu, y P. Song. 2020. [Global and National Environmental Impacts of the US–China Trade War](#). *Environmental Science & Technology* 54:16108-16118.
- Lynch, J. M., M. J. Brimecombe, y F. A. De Leij. 2001. [Rhizosphere](#). e LS.
- Ma, B., E. Stirling, Y. Liu, K. Zhao, J. Zhou, B. K. Singh, C. Tang, R. A. Dahlgren, y J. Xu. 2021. [Soil Biogeochemical Cycle Couplings Inferred from a Function-Taxon Network](#). *Research* 2021.
- Mallet, J. 2006. [What does Drosophila genetics tell us about speciation?](#) *Trends in ecology & evolution* 21:386-393.
- Malthus, T. R. 1990. *Ensayo sobre el principio de la población*. (E. A. S. A, Ed.).

- Manning, P. 2013. [Challenges of Big Data in History](#). Páginas 1-13 *Big Data in History*. Springer.
- Marcuse, H. 1993. *El hombre unidimensional*. Plantea-Agostini, Barcelona, Spain.
- Margulis, L. 1998. *Symbiotic Planet*. Basic Books, London, England.
- Margulis, L. 2009. [Genome acquisition in horizontal gene transfer: symbiogenesis and macromolecular sequence analysis](#). *Horizontal Gene Transfer*:181-191.
- Margulis, L., y D. Sagan. 2003. [Captando genomas: Una teoría sobre el origen de las especies](#). Editorial Kairos.
- Martin, W. F., M. C. Weiss, S. Neukirchen, S. Nelson-Sathi, y F. L. Sousa. 2016. [Physiology, phylogeny, and LUCA](#). *Microbial Cell* 3:582.
- Maslin, M. 2019. [Climate Change: essential knowledge for developing holistic solutions to our climate crisis](#). *Emerging Topics in Life Sciences* 3:245-256.
- Maturana, H., y F. Varela. 1994. *De Máquinas y Seres Vivos. Autopoiesis: La organización de lo vivo*. (E. U. S. A, Ed.).
- Mayorga, L. S., M. J. López, y W. M. Becker. 2012. [Molecular Thermodynamics for Cell Biology as Taught with Boxes](#). *CBE—Life Sciences Education* 11:31-38.
- Mela, A. P., A. M. Rico-Ramírez, y N. L. Glass. 2020. [Syncytia in fungi](#). *Cells* 9:2255.
- Merrill, G. P. 1897. [A treatise on rocks, rock-weathering and soils](#). Macmillan.
- Mittelbach, G. G., y B. J. McGill. 2019. *Community ecology*. Páginas 63-80. Oxford University Press.
- Morgan, M. S. 2021. [Narrative Inference with and without Statistics: Making Sense of Economic Cycles with Malthus and Kondratiev](#). *History of Political Economy* 53:113-138.
- Mueller, P. A., y A. P. Nutman. 2017. [The Archean-Hadean Earth: modern paradigms and ancient processes](#). *The Web of Geological Sciences Advances Impacts and Interactions II* 523:175-237.
- Network, G. F. 2011. [What happens when infinite-growth economy runs into a finite planet](#). *Global Footprint Network 2011 annual report*. Oakland, California:94607-3510.
- Nieminen, P., y A.-M. Mustonen. 2020. [Toxic Potential of Traditionally Consumed Mushroom Species—A Controversial Continuum with Many Unanswered Questions](#). *Toxins* 12:639.
- Nietzsche, F. W. 1998. *El Ocaso de los Ídolos*. Tusquets.
- Nikkola, T., y T. Tervasmäki. 2020. [Experiences of arbitrary management among Finnish academics in an era of academic capitalism](#). *Journal of Education Policy* 37:548-568.
- [Observations: Atmosphere and Surface](#). 2014. :159-254.

- Oparin, A. I. 2015. El origen de la vida. Akal.
- Ortega y Gasset, J. 2002. La barbarie del «especialismo». *en* D. E. PAÍS, editor. La rebelión de las masas. Diario EL PAÍS S.L, Madrid.
- Park, M., E. Leahey, y R. J. Funk. 2023. [Papers and patents are becoming less disruptive over time](#). *Nature* 613:138-144.
- Pascon, J.-L. 1997. Developing a national strategy for multimedia cultural heritage. Páginas 57-66 *Museums and the Web*.
- Peng, J. H., D. Sun, y E. Nevo. 2011. [Domestication evolution, genetics and genomics in wheat](#). *Molecular Breeding* 28:281-301.
- Perkins, S. 2009. [Earth: Plate tectonics may have had an early start: Ancient zircon crystals imply activity during Hadean eon](#). *Science News* 175:10-10.
- Pertoldi, C., y L. Bach. 2007. [Evolutionary aspects of climate-induced changes and the need for multidisciplinary](#). *Journal of Thermal Biology* 32:118-124.
- Petela, R. 2008. [An approach to the exergy analysis of photosynthesis](#). *Solar Energy* 82:311-328.
- Pierri, N. 2005. [Historia del concepto de desarrollo sustentable](#). *Sustentabilidad*:27-81.
- Popper, K. 1993. Logica de la investigacion. Páginas 39-42. Tecnos.
- Porta-Casanellas, J., M. López-Acevedo-Reguerín, y C. Roquero de Laburu. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Páginas 10-12 *en* Mundi-Prensa, editor. Tercera edición. Madrid.
- R Core Team. 2022. [R: A Language and Environment for Statistical Computing](#). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rauta, C., S. Carstea, y I. Davidovici. 1988. [Soil-Cybernetic System](#). *Analele Institutului de Cercetari pentru Pedologie si Agrochimie (Romania)*.
- Reinhardt, D., C. Roux, N. Corradi, y A. D. Pietro. 2021. [Lineage-Specific Genes and Cryptic Sex: Parallels and Differences between Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Fungal Pathogens](#). *Trends in Plant Science* 26:111-123.
- Roberston, D., y J. Robinson. 1998. [Darwinian daisyworld](#). *Journal of theoretical biology* 195:129-134.
- Rolshausen, G., F. Dal Grande, J. Otte, y I. Schmitt. 2022. [Lichen holobionts show compositional structure along elevation](#). *Molecular Ecology*.
- Rosenberg, E. 2021. [Evolution of holobionts: the hologenome concept](#). *Microbiome*:317-352.
- Rozanov, B. G. 1982. [Methodological bases of modern soviet soil science and its future development](#). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol* 19:79-90.
- Saether, O. A. 1986. [The myth of objectivity—post-Hennigian deviations](#). *Cladistics* 2:1-13.
- Sagan, D. 2021. [From Empedocles to Symbiogenetics: Lynn Margulis's](#)

- revolutionary influence on evolutionary biology. *Biosystems* 204:104386.
- Sagan, L. 1967. [On the origin of mitosing cells](#). *Journal of theoretical biology* 14:225-IN6.
- Sampedro, J. L. 2011. [José Luis Sampedro en TVE](#). *attactv*.
- Schlesinger, W. H., E. M. Klein, Z. Wang, y A. Vengosh. 2021. [Global Biogeochemical Cycle of Lithium](#). *Global Biogeochemical Cycles* 35.
- Schmidt, S., S. Kildgaard, H. Guo, C. Beemelmans, y M. Poulsen. 2022. [The chemical ecology of the fungus-farming termite symbiosis](#). *Natural Product Reports* 39:231-248.
- Schröder, P., M. Bengtsson, M. Cohen, P. Dewick, J. Hofstetter, y J. Sarkis. 2019. [Degrowth within—Aligning circular economy and strong sustainability narratives](#). *Resources, Conservation and Recycling* 146:190-191.
- Schrödinger, E. 1948. [¿Qué es la vida?](#) Espasa-Calpe.
- Schultz, C. 2013. [Marcellus Shale fracking waste caused earthquakes in Ohio](#). *Eos, Transactions American Geophysical Union* 94:296-296.
- Schwarz, E. 1909. [The probability of large meteorites having fallen upon the Earth](#). *The Journal of Geology* 17:124-135.
- Shannon, C. E. 1948. [A Mathematical Theory of Communication](#). *Bell System Technical Journal* 27:379-423.
- Shaw, C., y B. Nerlich. 2015. [Metaphor as a mechanism of global climate change governance: A study of international policies, 1992–2012](#). *Ecological Economics* 109:34-40.
- Shaw, J. 2017. [Was Feyerabend an anarchist? The structure \(s\) of «anything goes»](#). *Studies in History and Philosophy of Science part A* 64:11-21.
- Shi, S., M. Wen, X. Dong, S. Sharifi, D. Xie, y X. He. 2021. [Variations in glomalin-related soil protein in Vicia faba rhizosphere depending upon interactions among mycorrhization, daytime and/or nighttime elevated CO2 levels](#). *Geoderma* 404:115283.
- Simonson, R. W. 1997. [Early teaching in USA of Dokuchaiev factors of soil formation](#). *Soil Science Society of America Journal* 61:11-16.
- Slowikowski, K. 2021. [ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'ggplot2'](#).
- Smith, C. 2012. [Chemosynthesis in the deep-sea: life without the sun](#). *Biogeosciences Discussions* 9:17037-17052.
- Smith-Nonini, S. 2016. [The role of corporate oil and energy debt in creating the neoliberal era](#). *Economic Anthropology* 3:57-67.
- Soil Survey Staff. 1999. [Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys](#). 2nd Edition. USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Soil Survey Staff. 2014. [Keys to Soil Taxonomy](#). 12th edition. USDA-Natural

- Resources Conservation Service.
- Sokal, A. D. 1996. [Transgressing the boundaries: Toward a transformative hermeneutics of quantum gravity](#). *Social text*:217-252.
- Steensels, J., B. Gallone, y K. J. Verstrepen. 2021. [Interspecific hybridization as a driver of fungal evolution and adaptation](#). *Nature Reviews Microbiology* 19:485-500.
- Stevenson, D. J. 1983. The nature of the earth prior to the oldest known rock record-The Hadean earth. IN: *Earth's earliest biosphere: Its origin and evolution* (A84-43051 21-51). Princeton:32-40.
- Strullu-Derrien, C., y D.-G. Strullu. 2007. [Mycorrhization of fossil and living plants](#). *Comptes Rendus Palevol* 6:483-494.
- Suárez, J., y V. Triviño. 2019. [A metaphysical approach to holobiont individuality: Holobionts as emergent individuals](#). *Quaderns de filosofia* 6.
- Sweeton, F. H., y C. F. Baes. 1970. [The solubility of magnetite and hydrolysis of ferrous ion in aqueous solutions at elevated temperatures](#). *The Journal of Chemical Thermodynamics* 2:479-500.
- Thauer, R. K., A.-K. Kaster, H. Seedorf, W. Buckel, y R. Hedderich. 2008. [Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation](#). *Nature Reviews Microbiology* 6:579-591.
- Thelin, J. R. 2019. [An Embarrassment of Riches: Admission and Ambition in American Higher Education](#). *Society* 56:329-334.
- Thomas, C., y E. Gosink. 2021. [At the Intersection of Eco-Crises, Eco-Anxiety, and Political Turbulence: A Primer on Twenty-First Century Ecofascism](#). *Perspectives on Global Development and Technology* 20:30-54.
- Trainer, M. G., M. H. Wong, T. H. McConnochie, H. B. Franz, S. K. Atreya, P. G. Conrad, F. Lefèvre, P. R. Mahaffy, C. A. Malespin, H. L. K. Manning, J. Martín-Torres, G. M. Martínez, C. P. McKay, R. Navarro-González, Á. Vicente-Retortillo, C. R. Webster, y M.-P. Zorzano. 2019. [Seasonal Variations in Atmospheric Composition as Measured in Gale Crater, Mars](#). *Journal of Geophysical Research: Planets* 124:3000-3024.
- Turiel, A. 2020. *Petrocalipsis: Crisis energética global y cómo (no) la vamos a solucionar*. Editorial Alfabeto.
- Van Oijen, M., G. Bellocchi, y M. Höglind. 2018. [Effects of climate change on grassland biodiversity and productivity: the need for a diversity of models](#). *Agronomy* 8:14.
- Velikovsky, I. 2009. [Worlds in Collision](#). Paradigma, London, England.
- Vernadsky, V. 2014b. Some words about the Noösphere. Páginas 79-84 *en* J. Rss y M. Freeman, editores. *150 Years of Vernadsky: The Noösphere*. CreateSpace.
- Vernadsky, V. 2014c. *The Transition From the Biosphere To the Noösphere*.

- Páginas 11-26 *en* J. Rss y M. Freeman, editores. 150 Years of Vernadsky: The Noösphere. CreateSpace.
- Vernadsky, V. 2014a. Problems of biogeochemistry II. Páginas 46-65 *en* J. Rss y M. Freeman, editores. 150 Years of Vernadsky: The Biosphere. CreateSpace.
- Vernadsky, V. I. 1998. *The biosphere*. Springer Science & Business Media.
- Vicente-Saez, R., y C. Martinez-Fuentes. 2018. [Open Science now: A systematic literature review for an integrated definition](#). Journal of Business Research 88:428-436.
- Vinnichenko, G., A. J. M. Jarrett, J. M. Hope, y J. J. Brocks. 2020. [Discovery of the oldest known biomarkers provides evidence for phototrophic bacteria in the 1.73 Ga Wollongorang Formation, Australia](#). Geobiology 18:544-559.
- Vlačić, B., L. Corbo, S. C. e Silva, y M. Dabić. 2021. [The evolving role of artificial intelligence in marketing: A review and research agenda](#). Journal of Business Research 128:187-203.
- Wang, Q., y F. Zhang. 2021. [The effects of trade openness on decoupling carbon emissions from economic growth—evidence from 182 countries](#). Journal of cleaner production 279:123838.
- Wasson, R. G., A. Hofmann, y C. Ruck. 2013. *El camino a Eleusis*. FCE-Fondo de Cultura Económica.
- West, J. M., S. H. Julius, P. Kareiva, C. Enquist, J. J. Lawler, B. Petersen, A. E. Johnson, y M. R. Shaw. 2009. [U.S. Natural Resources and Climate Change: Concepts and Approaches for Management Adaptation](#). Environmental Management 44:1001-1021.
- Whitehouse, H. L. K. 1949. [Multiple-allelomorph heterothallism in the fungi](#). The New Phytologist 48:212-244.
- Wickham, H. 2016. [ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis](#). Springer-Verlag New York.
- Wilson, A. M., R. Gabriel, S. W. Singer, T. Schuerg, P. M. Wilken, M. A. van der Nest, M. J. Wingfield, y B. D. Wingfield. 2021a. [Doing it alone: Unisexual reproduction in filamentous ascomycete fungi](#). Fungal Biology Reviews 35:1-13.
- Wilson, A. M., P. M. Wilken, M. J. Wingfield, y B. D. Wingfield. 2021b. [Genetic networks that govern sexual reproduction in the Pezizomycotina](#). Microbiology and Molecular Biology Reviews 85:e00020-21.
- Wilson, E. O. 1999. *Consilience*. Primera edición. Random House.
- Wollenweber, B., J. R. Porter, y T. Lübberstedt. 2005. [Need for multidisciplinary research towards a second green revolution](#). Current opinion in plant biology 8:337-341.
- Wood, A. J., G. J. Ackland, J. G. Dyke, H. T. Williams, y T. M. Lenton. 2008.

- Daisyworld: A review. *Reviews of Geophysics* 46.
- Worrall, J. 2003. [Paradigms and Progress: Kuhn's versus Popper and Lakatos](#). Páginas 65-71. Cambridge University Press.
- Wu, Q.-S., X.-H. He, Y.-N. Zou, K.-P. He, Y.-H. Sun, y M.-Q. Cao. 2012. [Spatial distribution of glomalin-related soil protein and its relationships with root mycorrhization, soil aggregates, carbohydrates, activity of protease and \$\beta\$ -glucosidase in the rhizosphere of Citrus unshiu](#). *Soil Biology and Biochemistry* 45:181-183.
- Xie, Y., M. Lin, B. Decharme, C. Delire, L. W. Horowitz, D. M. Lawrence, F. Li, y R. Séférian. 2022. [Tripling of western US particulate pollution from wildfires in a warming climate](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119.
- Yang, Z., T. T. H. Nguyen, H. N. Nguyen, T. T. N. Nguyen, y T. T. Cao. 2020. [Greenwashing behaviours: causes, taxonomy and consequences based on a systematic literature review](#). *Journal of Business Economics and Management* 21:1486-1507.
- Yao, S., y K. Liu. 2022. [Actor-Network Theory: Insights into the Study of Social-Ecological Resilience](#). *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19:16704.
- Yu, C., S. Xie, Z. Song, S. Xia, y M. E. Åström. 2021. [Biogeochemical cycling of iron \(hydr-\)oxides and its impact on organic carbon turnover in coastal wetlands: A global synthesis and perspective](#). *Earth-Science Reviews* 218:103658.
- Zhang, Z., S. Van Poucke, H. Goyal, D. Rowley, M. Zhong, y N. Liu. 2018. [The top 2,000 cited articles in critical care medicine: A bibliometric analysis](#). *Journal of Thoracic Disease* 10:2437-2447.