

# TESIS DOCTORAL

2022

**LOS TODOS SOLO SON LA SUMAS DE SUS PARTES:  
Intervalos de cuasi descomponibilidad como base de la explicación  
de las propiedades emergentes**

**Emilio Cáceres Vázquez**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN FILOSOFÍA**

**DIRECTOR: CRISTIAN SABORIDO ALEJANDRO**



TESIS DOCTORAL 2022

TÍTULO:

**LOS TODOS SOLO SON LA SUMAS DE SUS PARTES:**

Intervalos de cuasi descomponibilidad como base de la explicación de las propiedades emergentes

Autor: Emilio Cáceres Vázquez

- Licenciado en CC Biológicas en 1990 por la Universidad Complutense de Madrid
- Licenciado en CC Ambientales en 2011 por la UNED
- Máster en Filosofía Teórica y Práctica en 2014 por la UNED

PROGRAMA DE DOCTORADO EN FILOSOFÍA

DIRECTOR: Cristian Saborido Alejandro, departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia de la UNED



*A mi mujer, mis hijos y mis padres.*



# Índice

1	Introducción.....	9
2	La emergencia y las propiedades emergentes.....	19
2.1	De los orígenes del emergentismo al periodo clásico.....	22
2.1.1	Stuart Mill y las leyes heteropáticas.....	22
2.1.2	George Lewes, el término <i>emergencia</i> y la generalización del concepto.....	26
2.1.3	Edward Spaulding y la relación parte-todo como precursor de la restricción y la causación descendente.....	27
2.2	El emergentismo británico: la modulación de los pilares de la emergencia y sus primeros usos.....	30
2.2.1	La evolución emergente de Lloyd Morgan y las novedades genuinas.....	30
2.2.2	Broad, el vitalismo emergente y la formalización de la emergencia.....	33
3	Las propiedades emergentes en el discurso científico contemporáneo.....	37
3.1	Las partículas elementales.....	38
3.2	Las moléculas y sus propiedades.....	40
3.3	Escalando niveles.....	44
4	Niveles de organización como intervalos de cuasi-descomponibilidad.....	51
4.1	Una brevísima introducción a la idea de nivel.....	51
4.2	Herbert Simon y los sistemas cuasi-descomponibles.....	60
4.3	La arbitrariedad del criterio de cuasi-descomponibilidad.....	63
5	Socavando los pilares de la emergencia.....	71
5.1	Impredecibilidad.....	71
5.2	Novedad cualitativa.....	73
5.3	Restricción o realizabilidad múltiple.....	75
5.4	Causación descendente.....	76
6	El mecosistema como alternativa explicativa basada en ICD.....	81
6.1	Entidades-sistema con propiedades.....	86
6.2	Interacción entre elementos de diferente tamaño.....	88
6.3	Causación internivel.....	89
6.4	El mecosistema.....	92
6.5	Un ejemplo: la bacteria y el coronel.....	93
6.6	Otro ejemplo: la RuBisCO.....	97
7	Derivaciones de la consideración de cuasi-descomponibilidad.....	101
8	Una revisión de la propuesta mecanicista.....	107

9	Una revisión de la propuesta de cierre organizacional.....	115
9.1	Cierre de constricciones y propiedades emergentes.....	115
9.2	El cierre de constricciones como propiedad de nivel de un ICD.....	122
9.2.1	Causación reflexiva ascendente y relación de constitución entre propiedades de nivel.....	122
9.2.2	Causación descendente reflexiva y simplificación explicativa.....	125
9.2.3	Causación internivel no reflexiva e individualidad.....	128
9.3	Un enfoque reduccionista del cierre de constricciones.....	129
10	Conclusiones.....	133
11	Lista de Figuras.....	141
12	Bibliografía.....	143
13	Apéndice documental.....	153
13.1	Intervalos de cuasi-descomponibilidad y propiedades emergentes, (2017). Emilio Cáceres y Cristian Saborido. <i>Theoría</i> , 32(1), 89-108.....	155
13.2	¿Realmente mató la bacteria al coronel?: Perspectiva sistémica, causación internivélica e intervalos de cuasi-descomponibilidad en las explicaciones mecanísticas, (2018). Emilio Cáceres y Cristian Saborido. <i>Theoria</i> , 33(1), 129-148.....	157
13.3	Intervals of quasi-decompositionality and mechanistic explanations, (2019). Emilio Cáceres. <i>Quaderns de filosofia</i> , 6(1), 15-27.....	159
13.4	Los pilares de la emergencia, (2022). Emilio Cáceres. El origen de los fundamentos teóricos del emergentismo. <i>Endoxa</i> , Aceptado para publicación.....	161
13.5	Cierre organizacional, intervalos de cuasi-descomponibilidad y causación internivélica. ¿Son las organizaciones biológicas regímenes emergentes de causalidad? (2022). Emilio Cáceres y Cristian Saborido. En revisión.....	163





## 1 Introducción

Bob Esponja decía que para ser adulto hay que llevar patillas y desarrollar gusto por el jazz. La primera de las dos características forma parte de mi desde mucho antes de lo que, a la vista de la experiencia, uno podría considerar *ser adulto*. La segunda, el gusto por el jazz, llegó tras muchos años de escucha e indagación en un intento de comprender la música de mi generación conociendo sus orígenes. El jazz resulta una música difícil, hasta el punto de que un no iniciado podría pensar que los músicos están tocando sin contar con sus compañeros de sesión. Pero tras esa forma aparentemente confusa y desordenada, subyace un orden basado en una estructura reglada. La esencia del jazz es, como en el fondo todas las músicas, una progresión de acordes que crean un esqueleto, una base armónica, sobre el que es posible tocar de forma que las notas *quepan*. El jazz, por lo general, usa acordes ordenados en progresiones que resultan *agradables* al oído. Cada acorde tiene un papel en la progresión, de forma que en su conjunto, y tras una serie de repeticiones convenientemente enlazadas, se cierra en un determinado número de compases formando un *chorus*. Estos *chorus* se repiten las veces que sea necesario para formar una, llamémosla, canción. Por lo general, la armonía del jazz sigue la denominada *estructura de blues*, esto es, una progresión de tipo I, IV y V, habitualmente de 12 compases aunque en ocasiones se prolonga o se acorta. Además de esta estructura, el otro formato mayoritario es la progresión II, V, I, con un número de compases variables, generalmente en torno a 16. Estas progresiones tienen múltiples variantes, tanto en tonalidad, pudiendo ser mayores o menores, en formas de los acordes, bien de triada o de cuatriada, con sustituciones y extensiones, etc. Esta base armónica es ejecutada por una parte de la banda, llamada sección rítmica o armónica, generalmente formada por batería, piano,

guitarra y contrabajo proporcionando una base sobre la que el resto del grupo, saxofonistas, trompetistas, guitarristas y pianistas desarrollarán la parte melódica del tema.

La composición suele seguir un patrón, empezando una melodía especialmente reconocible que permite reconocer con facilidad el tema, interpretado por toda la banda al unísono y que igualmente se usa para cerrar el corte. Entre medias, se ejecutan un número indeterminado de *chorus* donde los músicos de la sección melódica, de forma individual, improvisan sobre la armonía mantenida por la sección rítmica. Esta improvisación, a pesar de su nombre, sigue una serie de reglas que aunque pueden resultar difíciles de percibir, subyacen al virtuosismo de los intérpretes. El uso de las múltiples escalas (mayor, menor natural, menor armónica, aumentada, disminuida, *be bop*, etc), de los modos (jónico, dórico, frigio, lidio, mixolidio, eólico y locrio) y del arpegiado de los acordes permiten desarrollar una secuencia melódica *dentro de los márgenes* de la armonía de una forma increíblemente variada y permitiendo, bajo determinadas reglas, tocar *fuera* del patrón. Desde el jazz clásico de New Orleans, a las fusiones, pasando por el *be bop*, el jazz modal, el *hard bop* o el *avant-garde*, los músicos han explotado las posibilidades de las 12 únicas notas que subyacen a todo. En el moderno sistema diatónico, desarrollado originariamente por Pitágoras, existen 12 semitonos que configuran una octava, que no son sino relaciones numéricas proporcionales entre las frecuencias de las ondas de sonido. Debido a sus cualidades sonoras para nuestro oído, las clasificamos en 7 notas, a saber, do, re, mi, fa, sol, la y si (teclas blancas del piano) y sus sostenidos o bemoles, según hacia donde leamos la escala, do#, re#, fa#, sol# y la# (teclas negras del piano). Por tanto, se puede decir que existe un número mínimo de elementos que combinados de forma determinada produce una gama de sonidos *infinito*.

Es obvio que es posible establecer diferentes analogías entre la música y la naturaleza, sin embargo, no es esto lo que me hizo pensar en el jazz a la hora de escribir esta introducción, sino una reflexión de corte más personal en torno a la relación entre la biología y la filosofía que, mirándola con retrospectiva, quizá pueda servir para explicar qué es lo que me empujó, en un momento dado, a estudiar filosofía y, más tarde, a interesarme especialmente por la filosofía de la biología.

Soy biólogo de formación y desde los lejanos años 80 del pasado siglo XX (creo que nunca

me acostumbraré a utilizar esta expresión) en los que realicé la licenciatura hasta bien recientemente siempre me había considerado un caso paradigmático de lo que se suele conocer como *una persona de ciencias*. Esta percepción que tenía de mí mismo se vio reafirmada al obtener una segunda licenciatura, muy vinculada a mi formación anterior: ciencias ambientales. Sin embargo, y reconozco que de forma inesperada, fue gracias a estos estudios en ciencias ambientales como entré en contacto con la filosofía, disciplina que yo consideraba en las antípodas de lo que podría interesar a una persona de ciencias. Hasta entonces, la filosofía era para mí solo el recuerdo de una asignatura del bachillerato y de un entusiasta profesor de mi instituto que intentaba, no siempre con el éxito que sus esfuerzos merecían, conectar con un grupo de alumnos bastante más preocupados por el acceso a la universidad que por Platón, Aristóteles o cualquiera de los demás filósofos que engrosaban el *currículum* de aquella asignatura tan *de letras*. “Cerrad los ojos. Pensad en *EL PARAGUAS*”, nos dijo el profesor Valdivieso el primer día de clase con aire teatral mientras agitaba su paraguas por encima de nuestras cabezas. Esta anécdota quizá sea la responsable de que nunca olvidase el nombre de mi profesor, y puede que también de que conservase algunas vagas ideas acerca del concepto de lo ideal y del mito de la caverna. Sin embargo, durante años la filosofía pasó a formar parte de ese bagaje de conocimientos a los que no les encontramos ninguna utilidad pero que nos hemos visto obligados a aprender en un momento dado de nuestra vida, es decir, información destinada a ser olvidada sin causar especiales remordimientos.

Sin embargo, décadas después, en la licenciatura de ciencias ambientales cursé una asignatura de esas que los estudiantes de ciencias suelen considerar una *maría*, Historia y Filosofía de las Ciencias Ambientales que me hizo cambiar de perspectiva. Impartida por el desaparecido y añorado Julio César Armero, las lecturas propuestas me hicieron empezar a pensar no *desde* la ciencia sino *en* la ciencia. Fue leyendo a (Bowler, 1998) cuando descubrí que otras lecturas que había hecho con anterioridad, como (Ruse, 1983), (P. W. Atkins, 1995), (Gould, 2007), (Mayr, 2005), (Weinberg, 2015) o (Dawkins, 2002), no estaban escritas desde la ciencia sino *sobre* la ciencia. El trabajo que hice para Armero sobre la forma en la que los creacionistas idearon el diseño inteligente como estrategia para entrar en las aulas americanas terminó publicado en una pequeña editorial y empecé a pensar en la filosofía de otra forma.

Julio me animó a hacer el máster en filosofía dónde topé con Cristian Saborido cuya asignatura puso nombre a lo que me rondaba la cabeza: filosofía de la biología.

De pronto, conceptos *claros* en mi cerebro de científico normal (*kuhniamente* hablando) empezaron a no serlo tanto. Mis explicaciones *de ciencias* no cubrían todas las nuevas evidencias, estaba en crisis y necesitaba un nuevo paradigma. Por ejemplo, *La revolución darwinista* de Ruse pasó de ser un libro de historia a una revisión de cómo cambian conceptos como *evolución y especie*. La historia de la biología dejó de ser para mí un mero transitar por descubrimientos que culminan con la obra de Darwin para ser un devenir por el pensamiento de Lyell, Cuvier, Lamarck o el propio Darwin. Aprendí que se necesitan conceptos nuevos para las nuevas ideas que surgen para dar cuenta de lo observable, tal y como Darwin cambia el concepto de especie y nuestra forma de entender esta noción. De hecho, el propio título de su obra capital era profundamente contradictorio desde la perspectiva fijista de su época: el origen de las especies.

Darwin estudió la evolución de los seres vivos de una forma radicalmente diferente a como los químicos o físicos de su época estudiaban las sustancias o los cuerpos. La biología estaba desarrollando una metodología propia que le podía otorgar un lugar en las ciencias. Es decir, la biología necesitaba un sostén. Era una melodía que necesita un armazón armónico para no ser un simple tarareo. La biología necesita por tanto a la filosofía para desarrollarse sin resultar caótica y poder resolver los problemas de los que se ocupa.

Durante el máster aprendí que muchas veces la principal labor del filósofo no es resolver problemas, sino plantear dudas acerca de ciertas cuestiones que en ocasiones se dan por asumidas. En la asignatura de Saborido aprendí que existen problemas acerca de, por ejemplo, qué es la evolución, qué es una especie, qué es la vida o qué es un organismo. En mi cerebro *de persona de ciencias*, todos estos conceptos estaban claros, no eran discutibles porque, al fin y al cabo, se hace ciencia con ellos y, ¿qué es la ciencia sino el camino firme y bien señalado de la verdad objetiva? ¿Cómo iba a ser posible, concebible siquiera, que este camino estuviese pavimentado de conceptos sobre los que se pueda dudar? Sin embargo, la filosofía de la ciencia abrió ante mi un montón de posibilidades. Una vez empecé a acercarme a la ciencia desde la filosofía, muchas de mis asunciones científicas pasaron a ser, cuando

menos, discutibles y la mayor parte de ellas se instalaban ahora a lo largo de ejes vertebradores a través de los cuales se acoplaban las distintas posturas. Cada una de las distintas melodías encajan en su estructura armónica y aquellas formas de pensar con otra armadura resultan desafinadas.

En mi caso particular, conocía mi melodía pero desconocía sobre que progresión de acordes se asentaba. Mi primer trabajo como filósofo debía ser descubrir sobre que tipo de base filosófica se estructuraba mi pensamiento asentado. Mi forma de afrontar el conocimiento estaba cambiando de uno al otro lado del campus<sup>1</sup> y ahora debía mirar a mi facultad desde otro enfoque. La forma sencilla de hacerlo habría sido buscar donde encajar y contentarme con ello. Podría haber encontrado mi armonía entre la gama existente y pasar a otra cosa, pero eso no habría sido más que una justificación, una trampa. En uno de mis primeros trabajos del máster, uno de los profesores me criticó precisamente eso, la búsqueda de una fundamentación de mi postura *a priori* en lugar de llegar yo a la adecuada después de haber investigado debidamente el tema. Estaba aprendiendo. Debía repetir el esquema de mi inquietud musical. Como he comentado anteriormente, esa misma justificación la hice con la música años atrás. Indagando en las bases del rock para comprender mi gusto hasta llegar al blues. Pero no me conformé con eso, sino que a partir de ahí, comprendiendo lo que escuchaba, llegué de nuevo al rock, de una forma más adulta, y además desarrollé el *bobesponjiano* gusto por el jazz.

Ahora escucho gran variedad de música, no solo la de mi formación inicial, y también disfruto leyendo y discutiendo trabajos filosóficos, lo que, de haberlo podido saber, hubiera sorprendido sin duda al adolescente tan de ciencias que fui y al que mi profesor intentaba infructuosamente convertir en *amante de la sabiduría* a golpe de paraguas. Así, durante el máster entendí la base de mi fundamentación, llegué al blues, pero a partir de ahí desarrollé una nueva melodía que, si bien sonaba parecida a la previa, era más rica en matices, aprovechando toda las posibilidades que me ofrecía conocer su estructura.

---

1 Para los que no conozcan la Universidad Complutense de Madrid, el campus está dividido en las facultades de ciencias a la derecha y las de humanidades a la izquierda, de forma que desde las ventanas del edificio de Filosofía se ve la facultad de Biología.

Pero a la hora de componer la nueva melodía aparecía un escollo constante: las propiedades emergentes. Desde la comprensión de las propiedades de los compuestos químicos a partir de las cuales Stuart Mill habla de leyes heteropáticas, hasta el estudio de la moral, por ejemplo, la asunción (o no) de que *el todo es más que la suma de las partes* es omnipresente. Fue precisamente este último aspecto uno de los que me llevó a embarcarme en años de investigación que han dado lugar a esta tesis.

Gracias a la labor de Cristian Saborido este trabajo es en gran medida una compilación de artículos que han sido publicados o están en proceso de ello en revistas especializadas, que han sido presentados en reuniones y congresos internacionales y que se han beneficiado de la discusión con especialistas. Desde que empecé a trabajar en la tesis, he tenido reuniones periódicas con mi director en las que me ha ido orientando hacia este texto que hoy defiendo. Han sido reuniones en la que además de mostrarme la forma genérica de elaborar una tesis, me ha ido desbrozando caminos, intransitables en principio, por los que yo quería avanzar pero para los que no hallaba la forma de hacerlo. En muchas ocasiones han sido caminos cortados y ha habido que retroceder, pero una vez trazada la senda, he aprendido a avanzar con pasos firmes. Una vez trazada la estructura, una de las decisiones más importantes que tomamos fue la de la forma de dar salida a las ideas y de ahí emanaron los diferentes artículos, uno vertebrador y los demás adyacentes a él. En el momento de escribir esto, hay cuatro artículos publicados y uno en revisión, que independientemente de su aceptación a tiempo para esta defensa, irá incluido en este texto. Todos ellos giran en torno al primero, publicado en la revista THEORIA, en el que se desarrolla la parte central de esta tesis doctoral, con unas desinencias que se desarrollan en los demás, amén de otras, ya perfiladas, que pretendo sean la base de mis futuras investigaciones.

La idea inicial era que esta tesis siguiese el formato de una compilación de artículos. Este texto debería servir por tanto para relacionar los diferentes artículos que he elaborado a lo largo de mi investigación de doctorado y mostrar cómo están interconectados dando lugar a un programa de investigación coherente y articulado. Sin embargo, mi intención era también que esta presentación de los artículos fuera lo suficientemente elaborada para que el lector pudiera comprender los resultados de esta investigación sin necesidad de recurrir constantemente a la lectura de los artículos. En un principio, pensé que esto se podría lograr

intercalando fragmentos de mis artículos junto con algunos otros textos no publicados (bien por no formar parte de ningún paper, bien por estar aún en fase de revisión, bien por no haber cabido en los artículos por cuestiones editoriales), tratando de redactar un texto lo más coherente posible. Sin embargo, una vez puesto ante el teclado y pensando en el lector, iba incorporando más y más fragmentos, reordenándolos y modificándolos, hasta llegar a un texto final con contenido original más parecido a un libro que a una compilación de artículos. Finalmente ha resultado un texto, creo, completo en si mismo, consistente, coherente y exhaustivo acerca de la investigación que he llevado a cabo durante mi doctorado. Todas las ideas principales están defendidas en las diferentes publicaciones que se han incorporado al final de este trabajo, pero esta tesis doctoral permite una lectura integrada de todas estas ideas, ajustándome así a lo que viene a ser una tesis doctoral más tradicional. Espero que el resultado sea del agrado del lector.

Cabe destacar que el orden cronológico de la publicación de los artículos y la estructura de esta tesis no son coincidentes. El trabajo de investigación comenzó por el estudio del estado de la cuestión. En aquel momento no me había siquiera planteado la posibilidad de presentar la tesis por artículos, por lo que escribí un primer capítulo consistente en el rastreo histórico de la idea de emergencia y de propiedades emergentes. En el desarrollo de esta parte llegué al artículo clásico de (Klee, 1984) que a la postre se convertiría en vertebrador en dos sentidos. Por una parte, al proponer los cuatro pilares de las propiedades emergentes permitía elaborar un artículo que intentara derribarlos. Por otra, invitaba a reescribir la parte histórica enfocado a la aparición y concreción de esos pilares más que a una narración temporal. El primero de los sentidos llevó al primer artículo publicado en THEORÍA, el segundo se quedó en stand by durante bastante tiempo hasta que se materializó en el recientemente aceptado por ENDOXA. En este texto está situado al principio, en el apartado 2. Por tanto, parecía que la tesis cogía la dirección de demoler esos pilares, pero hacía falta una herramienta que a modo de martillo facilitara la tarea. Recuerdo aquellos momentos como un periodo de profunda crisis. Reunido con Cristian en su despacho, usando su pizarra como cuaderno de notas o memoria común, todas las ideas resultaban obvias o inútiles. Tras un periodo de búsqueda infructuosa, la lectura “Las estructuras jerárquicas” (Law White et al., 1973) me llevó a Herbert Simon y su “Arquitectura de la complejidad” (Simon, 1962) me puso en la pista. La cuasi-

descomponibilidad, es decir, la idea de que es posible cuasi-dividir sistemas por lugares aleatorios en función del criterio  $\epsilon$  del investigador, supuso una luz tenue al final de mi túnel. Mi propuesta, evidentemente heredada, es que solo existen sistemas cuasi-descomponibles y por lo tanto, el mundo no tiene juntas por el que cortarlo, pero aún así, hay ciertos sitios que resultan mejor que otros para hacerlo. El mundo material se puede cuasi-descomponer de forma arbitraria pero no caprichosa, en función de varios criterios  $\epsilon$  de cuasi-descomponibilidad, lo que determina varios intervalos en el continuo material asimilables a los niveles de organización tradicionales. Ese es el núcleo de la tesis y se desarrolla en los apartados 3, 4 y 5, pero tiene importantes desinencias relacionadas con la explicación que son abordadas en los demás artículos. Una de esas derivaciones tiene que ver con la explicación mecanística. En el desarrollo de la idea de la cuasi-descomponibilidad formulé el concepto de mecanosistema, similar a la idea de mecanismo, pero inconmensurable con él, por lo que necesitaba un desarrollo. Esta es la tesis central del segundo artículo publicado en THEORÍA y en el tercero, este en QUADERNS de FILOSOFÍA. La idea de mecanosistema en el 6 y su desarrollo en el 8. Por último, y vinculado con lo anterior, al hacer una taxonomía de las influencias de la emergencia en la explicación científica (apartado 7) consideré que también era necesario hacer una valoración de mi enfoque de la emergencia en contraposición con otra de las formas de explicación, aquella que implica a la emergencia en su máximo grado. La autoorganización, autopoiesis y los diferentes *closures* podían revisarse desde la cuasi-descomponibilidad, y a eso dedico el apartado 9. Lamentablemente, aunque defendí una versión preliminar de esta propuesta bajo el título “*Self-organization as level property: Towards a non-eliminativist reductionist approach to organizational closure*”, en el Congreso de la International Society for the History, Philosophy, and Social Studies of Biology en el Kristine Bonnevis hus de Oslo antes de la pandemia, aún no ha sido publicado y se encuentra en revisión, no obstante, espero que vea la luz próximamente. De todas estas formas he dedicado el análisis al cierre organizacional, por ser una de las formas más actuales y que goza de mayor relevancia académica.

Una apartado de conclusiones concluye el texto, antes de comenzar con las referencias bibliográficas y una anexo con los artículos, tanto los publicados como los aceptado o en revisión. La idea es que, aunque *a priori* sean innecesarios, quede constancia de que la tesis

está diseñada de esa forma y por tanto ayude a su comprensión.

Me gustaría finalizar esta introducción expresando mi gratitud a todas aquellas personas que han hecho posible este trabajo. En primer lugar a Conchi, mi mujer que (me) ha soportado todos estos años de vuelta a los estudios, apoyándome en todo lo necesario y en lo innecesario y facilitándome la vida en todos los aspectos. También en primer lugar a Silvia y Jorge, mis hijos, que durante años han debido pensar que vivía en el despacho y que a lo largo de todos este tiempo se han convertido en dos universitarios de esos que todos deseábamos tener por alumnos. Entre los tres me han dado ese soporte vital que una persona necesita para emprender cualquier tarea, máxime una de esta duración. Siguiendo con la familia, quiero agradecer a mis padres, Emilio y María, la educación que me han dado basada en el esfuerzo y en la honestidad, características que son necesarias para una vida buena y que si forman parte de mi personalidad es gracias a ellos. Lamentablemente mi padre ha fallecido recientemente sin poder ver este día, por lo que se lo dedico a él de forma especial.

También en lo familiar, gracias a mis hermanos, de sangre y políticos y en especial a mi sobrino Víctor, psicólogo con quien quién he debatido muchos aspectos de mi pensamiento y que fue mi *alter ego* en el diálogo que compuse como trabajo de fin de máster y que fue el germen de esta tesis.

Siguiendo en el ámbito personal, agradecer a mis amigos el hecho de serlo y proporcionarme el colchón emocional necesario para no quebrar en el intento. Uno de ellos, además, me ha servido de piedra de toque en el desarrollo de mis ideas, siempre de forma crítica y constructiva y ha contribuido con lecturas y comentarios a varios de mis trabajos. Gracias Dani.

Además de todos los anteriores, gracias especiales, de nuevo, a Cristian Saborido, director de tesis y amigo, con el que he compartido muchos cafés en la Facultad de Humanidades de la UNED de Madrid y múltiples viajes a congresos y *workshops*. Como ya he comentado antes, sin él este trabajo no habría sido posible. De nuevo agradecer al fallecido Julio César Armero haberme introducido en la filosofía, haberme dado la oportunidad de expresar mis opiniones en lo que se convirtió en mi primer libro y haberme acompañado durante parte del desarrollo de la tesis. Imposible olvidar su primera frase como miembro del tribunal el día de la defensa

EMILIO CÁCERES VÁZQUEZ

de mi TFM: “Sabes que me gusta como escribes, pero no puedo estar más en desacuerdo con tu opinión”.

Gracias también a todo el departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia de la UNED: David Teira, Jesús Zamora Bonilla, María Jiménez Buedo y Javier González de Prado, por sus aportaciones y su orientación, hacerme sentir como en casa y permitirme formar parte del proyecto MECABIOSOC. También a Giorgio Arioldi, con quien he compartido a Cristian durante la realización de la tesis doctoral, además de muchas conversaciones. Quiero también recordar a Víctor Luque de la Universidad de Valencia con quien también he compartido viajes y charlas en varios congresos. Añado a estos dos últimos a los demás miembros del grupo BiPhiTer (Laboratorio de investigación en filosofía y teoría de las ciencias de la vida). No quiero olvidar a Leonardo Bich, miembro del IAS-Research Center for Life, Mind and Society de la Universidad del País Vasco quien ha revisado algunos de mis textos y me ha invitado a defenderlos en la difícil arena de la UPV. Cristian, Giorgio, Víctor y Leonardo, son además *miembros* del *Oslo Gang* junto a Marc Artiga de la Universidad de Valencia y Laura Menatti de la Universidad de Burdeos. Todos pasamos unos días inolvidables en la ISHPSSB Conference de 2019 (International Society for the History, Philosophy, and Social Studies of Biology) donde expuse el tema de mi último artículo en la época previa a la pandemia recibiendo el apoyo y el escrutinio de todos ellos. Un último recuerdo para Álvaro Martínez del Pozo, Catedrático de Bioquímica de la Universidad Complutense de Madrid, de quien fui alumno durante su *postdoc* en los lejanos años ochenta, que formó parte del tribunal de mi TFM y con quien compartí varias conversaciones durante la realización de la primera parte de la tesis.

A todo ellos, y a los que me dejo, compañeros, demás amigos y familia, gracias.

## 2 La emergencia y las propiedades emergentes

Como apuntaba en la introducción, son cada vez más frecuentes los artículos científicos acerca de las bases químicas del comportamiento. Un significativo ejemplo de esto son los estudios acerca de los circuitos neuronales de la moral<sup>2</sup>, en los que se describe cómo estos comportamientos se localizan en estructuras cerebrales como la corteza prefrontal, la corteza cingular anterior o el sistema frontoparietal (Álvaro-González 2014) . Es en una de estas regiones cerebrales donde se encuentran las célebres neuronas espejo, las cuales parecen ser las responsables de la empatía (ver por ejemplo en (Iacoboni, 2011) o (Tomasello, 2010)). Aunque no profundiza en los elementos químicos de la transmisión del impulso nervioso<sup>3</sup>, es evidente que estas neuronas, como todas las demás, transmiten los estímulos y las órdenes efectoras a lo largo de sí mismas mediante impulsos eléctricos, y entre unas y otras mediante neurotransmisores. En ambos casos, en el fondo hay aniones y cationes moviéndose a uno u otro lado de una bicapa lipídica o unas pequeñas moléculas formadas por unos pocos elementos químicos. Y más en el fondo, son solo átomos, a su vez compuestos por solo tres tipos de partículas.

Ya sin circunscribirnos a la moral, sino al funcionamiento general de los sistemas vivos, a pesar de que este planteamiento monista es básicamente admitido por todos los que analizan filosóficamente la biología, sigue habiendo una profunda discrepancia entre si la organización superior está determinada unívocamente por sus partes componentes, como hace por ejemplo

---

2 Aunque se escapa al detalle de esta tesis, resulta muy interesante la crítica a la moda de lo *neuro* de (Vidal & Ortega, 2021)

3 Para una descripción detallada de los mecanismos subyacentes a la actividad neuronal, véase (Craver, 2007)

(P. M. Churchland, 2001) o si, por el contrario hay algo más, generalmente situado en la organización y en las relaciones entre los elementos componentes, que aporta nuevas propiedades a lo complejamente estructurado, como defienden entre otros (Moreno & Mossio, 2015). Para unos, la vida en general y el comportamiento moral como caso particular, no puede explicarse solamente en función de sus componentes materiales últimos sino que la propia organización y su interacción con el entorno hacen emerger ciertas propiedades impredecibles y lo más importante, *cualitativamente* diferentes. Para otros, el hecho de que no seamos capaces de explicarlo en detalle no es óbice para que no sea una propiedad determinada por sus elementos.

El aspecto moral (ver por ejemplo (Hauser, 2008) o (P. S. Churchland, 2012)) es quizá el más controvertido dentro de esta disputa, pero desde luego no es el único. La existencia o la inexistencia de esta sinergia que hace del todo *algo más que la suma de las partes*, es un problema en busca de solución desde hace más de 160 años, al menos de forma explícita, cuando John Stuart Mill hablara en su «*A system of logic: ratiocinative and inductive*» (Mill, 1843) de la existencia de dos tipos de leyes, homopáticas y heteropáticas, en función de si eran o no predecibles desde sus elementos constituyentes. Aunque en un principio vinculado al mundo de la química, pronto pasó a formar parte de los problemas filosóficos de la biología sobre todo a raíz de la publicación de la obra clave de Charles Darwin (1859) y el intento de Conwy Lloyd Morgan (1923) de utilizar el concepto de emergencia, recién acuñado por G. H. Lewes (1874), con el fin de explicar la novedad evolutiva de una forma, digámoslo así, menos traumática. El fin del *vitalismo*, el desarrollo de la biología como una ciencia analítica o el *fallo del reduccionismo* (Bunge, 2004, p. 191), han supuesto hitos importantes en la historia de la idea de la emergencia que han llevado este concepto hasta nuestros días.

Este trabajo comienza con un análisis histórico-conceptual de la noción de emergencia, lo que nos permitirá determinar sus características principales. Este análisis no pretende ser un recorrido completo de la historia del concepto desde su aparición en la segunda mitad del siglo XIX, sino que pretende solamente concretar como los pilares sobre los que se sustenta la noción de emergencia han ido perfilándose hasta alcanzar su forma estable en la época de los emergentistas británicos. Es aquí donde se sitúa el primer artículo, aceptado recientemente en la Revista Universitaria de Filosofía ENDOXA y que puede verse anexo a esta tesis. Bajo el

título “*Los pilares de la emergencia. El origen de los fundamentos teóricos del emergentismo*” (Cáceres, 2022) se ofrece una revisión histórica de las características de la emergencia que Robert Klee (1984) encontrara como elementos comunes a todas las versiones de las propiedades emergentes. Klee establece las condiciones mínimas para que una propiedad emerja de una microestructura subyacente a ella. Para ello, la propiedad deba ser a) impredecible a partir de su base, siendo esta completamente conocida el límite de la indagación científica; o b) nueva con respecto a la microestructura, es decir, no mostrada por esta o c) la microestructura debe exhibir un mayor grado de variación y fluctuaciones que aquellos del nivel de organización donde la propiedad ocurre, de forma que la constante y perdurable presencia de la propiedad en el sistema no parezca completamente determinada por su base; o d) la propiedad tiene una directa y determinante influencia sobre, al menos, alguna de las propiedades de la microestructura subyacente (Klee, 1984, p. 48). Basta con que una propiedad cumpla al menos una de estas condiciones para poderla considerar emergente en vez de resultante, dicho en términos físicos. En el primer artículo publicado (Cáceres & Saborido, 2017), y que aquí aparece en segundo lugar, he denominado a estas características *pilares de la emergencia* y son, a saber, impredecibilidad, novedad genuina, restricción y causación descendente.

El primer pilar hace referencia al primer aspecto que llamó la atención inicialmente a Stuart Mill, la impredecibilidad o imposibilidad de anticipar la aparición de una propiedad conociendo completamente las propiedades subyacentes y las reglas que rigen dicho sistema. Mill llamó la atención sobre ello en la transición del mundo de la física al de la química. El segundo pilar, la novedad genuina, se muestra ligado de forma fuerte al primero y se refiere a la aparición de propiedades no existentes en un nivel respecto a sus componentes, como puede ser la propiedad de *liquidez* del agua respecto a las propiedades identificables en sus moléculas. El tercero, la restricción, está menos vinculado a los otros dos y es, desde mi punto de vista, una prueba más robusta para la emergencia que los primeros. Hace referencia a la reducción de variación en el nivel superior respecto al inferior. Así, una propiedad superior como la liquidez anteriormente citada es exhibida por más de una combinación de elementos del microsistema. Por ejemplo, dos vasos de agua tienen microestructuras diferentes y una propiedad de nivel superior idéntica. Esto es lo que se ha dado en llamar realizabilidad

múltiple. Por último, la causalidad descendente o causación descendente o influencia causal del nivel superior en el inferior. Es quizá el elemento clave de la emergencia, como veremos que señala (Kim, 1999). A su vez esta relación de causalidad internivel se puede clasificar en dos variantes, la anidada o reflexiva, que hace referencia a la influencia causal del todo en sus partes, y la no reflexiva, que se refiere a la relación causal de un todo en el nivel inferior de otros todos adyacentes. Esta diferencia es importante, pues es uno de los argumentos que los defensores de la emergencia, tanto desde una postura mecanicista como organizacional, esgrimen en sus diferentes propuestas explicativas.

## **2.1 De los orígenes del emergentismo al periodo clásico<sup>4</sup>.**

### **2.1.1 Stuart Mill y las leyes heteropáticas**

Nagel cita a Stuart Mill como la “fuente clásica de la doctrina de la emergencia” (Nagel, 1961, p. 448). En esta cita, Nagel hace referencia a la distinción que hacía el filósofo inglés entre los modos *mecánico* y *químico* en relación a la acción conjunta de las causas. También C. Lloyd Morgan en su *Emergent Evolution* habla de Mill como del primero en plasmar la idea de la emergencia (Morgan, 1923, p. 3) haciendo referencia a la distinción que hay entre *emergente* y *resultante* a pesar de que no usara el término “emergencia”. Parece ser, por lo tanto, que Mill fue el primero en darse cuenta de que existían dos formas en las que la materia interactuaba, una que daba lugar a un resultado predecible y otro que resultaba, a priori, impredecible.

Efectivamente, Mill introduce el concepto germinal de la emergencia cuando habla de la composición de causas en su “*A system of logic*” (Mill, 1843). En el análisis de la causalidad, Mill atisba dos formas diferentes en las que las causas se pueden combinar para dar una consecuencia. Una de ellas se da cuando dos causas mecánicas actúan conjuntamente para dar un resultado común, pues a pesar de que el resultado aparezca como novedoso, un análisis sencillo lo muestra perfectamente calculable mediante la combinación algebraica de las causas. Esto era así porque la misma ley que rige en las causas independientes opera sobre el resultado. Sin embargo Mill considera que esto no es siempre así, es decir, no siempre el

---

4 Aquí comienza una larga sección que es la mayor parte del artículo publicado en ENDOXA (Cáceres, 2022)

resultado es esperable, como en el caso de las reacciones químicas en las que a partir de unos elementos iniciales se produce una o varias sustancias con unas propiedades completamente diferentes a las de los elementos de partida. Mill usa varios ejemplos, entre ellos el agua de la que afirma que “*no se observa ningún rastro de las propiedades del hidrógeno o del oxígeno en las de su compuesto, el agua*” (Mill, 1843, p. 267). Esta diferencia es lo que hace de la química una ciencia peculiar, en el sentido de impredecible, diferencia que se amplifica en el estudio de la viviente. Lo vivo está formado por los mismos componentes que lo inerte, pero aunque la vida es el resultado de la yuxtaposición de sus componentes, todos ellos inertes, no guarda ninguna relación con las propiedades de estos de forma individual. Mill recurre a ejemplos concretos para ilustrar esto, como el de la lengua, la cual a pesar de esta compuesta por los mismos elementos que el resto del animal, no hay nada que hagan pensar en su capacidad para reconocer los sabores (1843, 267). En estos y otros ejemplos Mill hace referencia a la aparición de propiedades no contenidas en los componentes y no resultante de estos.

Por lo tanto, su visión humeana de causalidad como una mera sucesión de fenómenos (Blitz 1992, 76) distingue dos tipos de causas, una mecánica y una química que no se anulan una a la otra sino que se complementan. De esta forma la combinación de elementos da lugar por una parte y de forma general a resultados homogéneos o esperables y por otra de forma particular a resultados heterogéneos o inesperables. Por ejemplo, en un cuerpo vivo la cualidad la cualidad de vida es una propiedad no resultante, inesperada o heterogénea, mientras que su peso sigue cumpliendo con la agregación de masas y es por tanto homogénea, esperable o resultante. Las leyes que rinden resultados homogéneos son mayoritarias y son reemplazadas solo en ocasiones por las que dan lugar a efectos inesperados. Mill usa el término *ley heteropática* para hacer referencia a la responsable de este cambio químico.

Esta idea de ley anómala, en el sentido de excepcional, es la que posteriormente será usada para fundamentar la idea de emergencia tanto en los primeros emergentistas en apoyo de sus ideas, como el ya citado Morgan, como por los reduccionistas en detrimento de las suyas, como el también citado Nagel. Pero a pesar de ello, no es en estos inicios una opinión tan *emergentista* como pudo parecer a posteriori. Prueba de ello es que el propio Mill deja claro que tras una combinación de causas de tipo químico “*no podemos, al menos en el estado*

*actual de nuestros conocimientos, prever qué resultado se obtendrá de cualquier nueva combinación hasta que hayamos probado el experimento concreto”* (Mill 1843, 267) dejando abierta una interpretación del concepto de ley heteropática más cercano a una irreductibilidad contingentemente epistemológica, como lo denomina (Piiroinen 2014, 143) que a una emergencia al uso.

Mill sitúa las leyes heteropáticas estrictamente en el cambio químico y deja claro que es perfectamente posible la combinación de causas regidas por éstas y por leyes mecánicas. Abre así la posibilidad de considerar la fisiología o la química como ciencias deductivas (Mill, 1843, p. 270), pues si bien es imposible deducir todas las leyes a partir de sus *agentes elementales* es perfectamente plausible hacerlo mediante leyes que empiezan cuando estos elementos ya se han unido en algunas combinaciones que siguen las leyes heteropáticas.

*Las leyes de la vida nunca serán deducibles de las meras leyes de los ingredientes, pero los hechos de la vida, prodigiosamente complejos, pueden ser todos deducibles de leyes de la vida comparativamente simples; estas leyes (que dependen ciertamente de combinaciones, pero de combinaciones comparativamente simples, de antecedentes) pueden, en circunstancias más complejas, estar estrictamente compuestas unas con otras, y con las leyes físicas y químicas de los ingredientes.* (Mill, 1843, p. 269)

Por lo tanto, Mill propone una especie de ciencia deductiva completa a falta de la brecha que supone el desconocimiento del salto de lo físico a lo químico. Así, partiendo de algunas leyes heteropáticas como las primeras leyes ponderales<sup>5</sup> se puede llegar a un completo conocimiento de la naturaleza.

Otro aspecto que merece la pena señalar de Mill es su postura en torno a la reversibilidad de las leyes heteropáticas (1843, 316), algo que aplicado al concepto de emergencia veremos

---

5 Las leyes ponderales son expresiones matemáticas que hacen referencia a las relaciones de masa de elementos en un compuesto químico o de reactivos y productos en una reacción química. Fueron formuladas antes de la Teoría Atómica de Dalton a finales del siglo XVIII y principios del XIX. Son: Ley de Lavoisier o de conservación de la masa (1787), Ley de Proust o de las proporciones constantes (1799), Ley Richter o de las proporciones equivalentes o recíprocas (1792), Ley de Dalton o de las proporciones múltiples (1803), Ley de Gay-Lussac o de los volúmenes de combinación (1809) y Ley de Avogadro (1811)

posteriormente, por ejemplo en la extinción<sup>6</sup> de Mario Bunge (2004, 35). Mill plantea esta idea como un método para analizar los componentes causales de una sustancia. Así, dice que, si bien no se puede predecir el resultado de la combinación del hidrógeno con el oxígeno, dado que las leyes heteropáticas son reversibles, se puede descomponer el agua y así averiguar de que está formada. Esta idea estaba muy lejos de poder ser aplicada con éxito en la época de Mill, pues apenas se conocían media centena de elementos y las posibilidades metodológicas de descomposición de un compuesto hasta sus partículas elementales eran muy reducidas. Mill añade que, a pesar de esta virtud de la combinación de causas, no se trata de un método que pueda extenderse a todos los ámbitos, señalando como excepción uno de los problemas sobre el que posteriormente se desarrollará el concepto de emergencia, la relación entre la mente y su soporte físico. Así, afirma que la naturaleza mental es análoga a los procesos químicos, de manera que aunque un sentimiento complejo está formado por la coalición de muchos impulsos elementales *“no podemos determinar a partir de qué sentimientos simples se generan cualquiera de nuestros estados mentales complejos, como determinamos los ingredientes de un compuesto químico, haciendo que éste, a su vez, los genere.”* (Mill 1843, 317)

Es importante destacar que el tratado de Mill es básicamente sobre la causalidad, no sobre las propiedades de la materia, ni sobre su estructura, ni sobre la vida o la mente, ni por supuesto sobre la evolución darwiniana que aún no había sido publicada, y es en ese marco en el que hay que comprenderla. La química durante el siglo XIX era una ciencia principalmente inductiva, como el propio Mill pone de manifiesto al ejemplificar la reversibilidad con los experimentos de Lavoisier llevados a cabo durante el siglo XVIII, y el conocimiento de la naturaleza de los enlaces químicos no se alcanzaría hasta ya entrado el siglo XX, hecho que hace desaparecer el misterio que Mill otorgaba a este tipo de ley<sup>7</sup>. La vinculación de las leyes

---

6 Para Bunge la emergencia no supone ningún problema y la ve como ubicua. En su análisis afirma que así como emergen ciertas propiedades conforme ascendemos niveles lo hacen en el sentido de que no existían antes de observar a ese nivel, también se extinguen las propiedades de los componentes al hacer esa ascensión. Por ejemplo, al ver el agua desde cierto nivel aparece la líquida, pero a su vez se extinguen las propiedades del hidrógeno y del oxígeno como elementos independientes.

7 Hasta el descubrimiento de la naturaleza del enlace químico las moléculas eran proporciones de átomos con propiedades solo discernibles por observación. Una vez desentrañada la estructura, las propiedades de las

heteropáticas a la emergencia, algo que asumen los ya nombrados Morgan y Nagel, es en mi opinión la suscripción a una idea que flota en todas las concepciones de la emergencia, la sencilla idea de que *algo más debe haber*.

### 2.1.2 George Lewes, el término *emergencia* y la generalización del concepto.

George H. Lewes es también citado por Morgan como uno de los introductores de la emergencia, a pesar de que las diferencias con Mill son significativas (Blitz 1992, 82). Lewes aborda el tema de la emergencia en su obra *Problems of Life and Mind* (1874-1879) que como el título indica, trata sobre las peculiaridades que la vida y la mente tienen con respecto al resto de la materia. Solo habían pasado 30 años desde la primera edición de la obra de Mill, pero en una época lo suficientemente significativa para que ya se haya editado el *Origin* (Darwin 1859) y la visión de la biología haya cambiado radicalmente. En su tratamiento acerca de la causalidad, Lewes recupera la idea de ley heteropática de Mill pero la amplía sacándola del campo de la química y llevándola a aspectos relacionados con la biología y la mente. Pensaba que estos eran *algo más* que sus componentes y que los seres vivos se comportaban como un todo en relación con su entorno. Además, rechazaba cualquier forma de vitalismo señalando que “*algún principio extra-orgánico es una ficción puramente gratuita*” (Lewes 1877, 15).

*El biólogo empleará el análisis químico y físico como parte esencial de su método; pero siempre rectificará lo que sea artificial en este procedimiento, subordinando las leyes de la Física y la Química a las leyes de la Biología reveladas en la observación sintética del organismo como un todo* (Lewes 1877, 21-22).

De esta forma, acuña el término “emergente” en contraposición al más físico “resultante”, reservando este último para aquella composición de causas, como las fuerzas, cuya consecuencia es perfectamente explicable y predecible a la vista del punto de partida y viceversa. Lo emergente es lo que no es resultante y no puede reducirse a la suma algebraica de sus componentes.

---

moléculas podían deducirse, o cuando menos explicarse, a partir de su estructura. En el caso siempre usado del agua, la propiedad de “ser líquido” es debida a la estructura de la molécula. Ver en (Cáceres & Saborido, 2017, p. 101).

*Cada agente, indestructible e independiente, tiene su propio valor individual; y el efecto o combinación de agentes tiene dos modos: en un caso tenemos una adición o mezcla; en el otro una combinación, con un emergente.* (Lewes, 1874, p. vol 2, 412)

Al margen de la recuperación de la idea de Mill, es importante señalar las diferencias entre ambos pensadores, en especial en la contemplación de lo psicológico. Lewes pensaba que la psicología tenía características propias más allá de las puramente biológicas y fisiológicas, por lo que amplía la consideración de emergencia también a lo psíquico y basa en la emergencia la concepción de un mundo discontinuo, con cambios cualitativos, contrario a la visión darwinista gradual y cuantitativa (Blitz 1992, 80-81). Por lo tanto, además del cuño del término, Lewes plantea varios de los problemas que recogerán los denominados emergentistas británicos: la novedad cualitativa, no solo a nivel químico, sino extendido a otros niveles de complejidad, la impredecibilidad, la imposibilidad de reducción, las propiedades de los todos frente a sus partes y la jerarquía de las ciencias y de sus respectivos niveles de estudio. Lewes, como Mill, no da ninguna explicación para la emergencia más allá de describirla como solución para problemas de complicada respuesta o de difícil asimilación, algo que, en mi opinión, no solo le ocurre a él, sino que se va manifestando a lo largo de la evolución del concepto. Una de estas cuestiones es el gradualismo cuantitativo darwiniano, aspecto contrario al pensar y al sentir de la época y que fue la clave de la obra principal de Morgan, como veremos más adelante.

### **2.1.3 Edward Spaulding y la relación parte-todo como precursor de la restricción y la causación descendente.**

Ya en el siglo XX, otro elemento interesante que atañe a la cuestión de la emergencia llega esta vez procedente del continente americano. En *A Defense of Analysis*, Edward (Spaulding 1912) desarrolla la importancia del análisis de los *todos* para favorecer su comprensión, considerando a las partes tan reales como lo son los *todos* de los que son componentes. Spaulding habla tanto de analítica formal como experimental, admitiendo en el segundo caso la experimentación en laboratorios físicos, químicos, biológicos y psicológicos, aunque en este último campo se plantea más como una analogía que como un método experimental al

uso (1912, 155-56). Es importante destacar, de cara a la evolución histórica del concepto de emergencia, el papel clave que Spaulding sitúa sobre las relaciones entre los componentes y la totalidad cuando dice que *el análisis involucra la relación parte-todo* (1912, 158), pues es en ella donde basa la clasificación de *todos* que propone y donde descansa el *algo más* de la emergencia. Así, agregados, simples colecciones de objetos, colecciones de objetos subordinados y todos orgánicos, dependen de la relación entre las partes que los forman.

A lo largo de su obra, Spaulding pormenoriza las diferencias entre los cuatro tipos de *todo* que plantea. Para nuestro propósito, destaca especialmente el capítulo V, dedicado al último de los tipos: los todos orgánicos. En esta parte de su obra, Spaulding recurre al ejemplo clásico de los pioneros de la emergencia, el agua, llegando a la misma conclusión que sus predecesores: el agua tiene diferentes propiedades que no pueden encontrarse en el oxígeno ni en el hidrógeno. Pero nos hallamos en 1912 y se ha avanzado mucho en el desentrañamiento de la estructura de la materia. Spaulding va más allá y compara las propiedades del agua, no ya con la agregación de propiedades del hidrógeno y del oxígeno, sino con la de los electrones y los núcleos atómicos (1912, 238-39), para llegar a la misma conclusión: hay propiedades que no están en los componentes y que no pueden deducirse *homopática* o *resultantemente*. Insiste en la novedad de las *relaciones entre los componentes* que dan razón de las propiedades que no son explicables por simple aditividad, relaciones que son ejemplificables en un organismo, razón por la cual los denomina orgánicos a pesar de que no solo los seres vivos son este tipo de todo no aditivo.

No obstante, el Spaulding de 1912 es, como Mill, reservado acerca de la imposibilidad de deducción, y hace referencia al estado actual de la ciencia para dejar en el aire si se trata de una cuestión de ignorancia o de imposibilidad real cuando dice que *“permite [el análisis] para un todo que no es simplemente la suma de sus partes, y que, con sus propiedades, no puede en la etapa actual de la ciencia ser deducido de esas partes”* (1912, 239) o que *“es una cuestión abierta si esta imposibilidad se debe a la estructura de la existencia, o a nuestra ignorancia”* (1912, p. 241). Pero esta cuestión parece cambiar unos años después cuando afirma la imposibilidad de deducción de las propiedades de los todos a partir de sus partes (Spaulding 1918, 448). En esta última obra desarrolla un sistema para explicar la estructura de la materia basada en niveles de organización cuyos componentes están relacionados entre sí

mediante relaciones no aditivas o constitutivas<sup>8</sup> que da lugar a propiedades cualitativamente nuevas. En este sistema, el nivel superior respeta las leyes del inferior y éste tiene una relación con el primero, pero no una relación de causalidad ni de identidad. Añade que, en función de la existencia de dichas relaciones no aditivas, existe una imposibilidad de deducción o predicción de los niveles superiores a partir de los inferiores y que los primeros solo pueden ser comprendidos en primera instancia mediante la inducción y la investigación empírica (1918, 449).

Es palpable la importancia que Spaulding otorga a la organización frente a la materia, aspecto que será importante en las más modernas consideraciones de la emergencia. Esto afecta a todas las entidades, tanto orgánicas como inorgánicas, pues *“en ambos casos, las partes constituyentes pueden ir y venir, pero las organizaciones permanecen; esta última es más permanente que la residencia en ella de las partes materiales”* (1918, p. 449). Pero a pesar de alojar bajo el mismo tipo de organización lo inerte y lo vivo, y en función de las características propuestas para los niveles, puede resolver la cuestión diferencial del ser humano como ser ético y racional, considerando estas cualidades humanas como no identificadas ni derivadas directamente de la naturaleza biológica, aunque si correlacionadas con ellas, pero solo una vez descubiertas.

*Pero de esto se desprende la conclusión [...], de que la ética no es una rama de la biología, así como la biología no es una rama de la química y la física, y también la conciencia, la voluntad y la razón, aunque no son indeterminadas y sin ley, son sin embargo libres -primero, sin embargo, en el sentido muy específico de ser realidades en un ámbito en el que la causalidad está ausente, pero en el que los ideales del derecho y la justicia y la verdad están presentes como eficiencias, para así llevar a los hombres a actuar como deben actuar, y a razonar como la estructura implicativa de la realidad dicta, y no como la tradición y la costumbre y la autoridad querrían que razonaran.*  
(Spaulding, 1918, pp. 450-451)

De este último aspecto puede derivarse una cuestión fundamental en el devenir del concepto de emergencia. Aunque Spaulding no lo dice explícitamente, parece apreciarse una influencia

---

8 Spaulding usa el término constitutiva citando a Walther Nernst en (Spaulding, 1912, p. 238).

de los niveles inferiores por parte de los superiores, condicionamiento que aparecerá manifiestamente en Morgan y que posteriormente se denominará causación descendente.

## **2.2 El emergentismo británico: la modulación de los pilares de la emergencia y sus primeros usos**

Los análisis clásicos de la emergencia marcan este periodo (primer cuarto del siglo XX) y a sus autores, como el precedente de lo que se dio en conocer como la época del emergentismo británico o el periodo clásico de la emergencia. (Stephan 1992), (Mclaughlin 1992) o (Blitz 1992), argumentan que autores como C. Lloyd Morgan, Samuel Alexander, C.D. Broad, William Wheeler y Roy Wood Sellars recogieron las ideas de Mill, Lewes y Spaulding e hicieron de la emergencia el eje central de su pensamiento. Aunque los emergentistas británicos partían de perspectivas y campos de estudio diferentes, todos ellos construyeron una realidad formada por niveles caracterizados por propiedades emergentes cualitativas no reducibles a las de los niveles inferiores.

### **2.2.1 La evolución emergente de Lloyd Morgan y las novedades genuinas.**

Morgan utilizó el concepto de emergencia como eje de la confección de una teoría de la evolución con la que intentaba resolver uno de los aspectos más criticados de una teoría darwiniana en horas bajas (Bowler 1998, 313): la cuestión del gradualismo. La propuesta darwinista tenía un doble foco de análisis, uno biológico y otro filosófico. En el primero, el debate se centraba en cuales eran los mecanismos por los que se producía la descendencia con variabilidad y cómo actuaba la selección natural para cribar entre las distintas opciones. En el segundo, si la evolución trabaja gradualmente, no puede haber ninguna separación entre dos características que no puedan quedar enlazadas por un número finito de términos medios. Por tanto los planteamientos clásicos de la existencia de *brechas* entre seres vivos e inertes o animales y hombres no se sostenían, y como consecuencia las propiedades principales en las que se establecen estas diferencias, y que justifican la singularidad de la vida, la racionalidad y la moral, tampoco.

*Todo animal, cualquiera que sea su naturaleza, si está dotado de instintos sociales bien definidos, incluyendo entre estos los afectos paternos y filiales,*

*inevitablemente llegaría a la adquisición del sentido moral o de la conciencia cuando sus capacidades intelectuales llegasen o se aproximasen al desarrollo a que aquellas han llegado en el hombre.* (Darwin, 1871, p. 122)

Una conclusión de este gradualismo que incluía lo mental y lo moral, fue el pansiquismo de (Haeckel 1892) ya criticado por Lewes cuando decía *que según esto “los guijarros son filósofos de energía infinitesimal”* (Lewes 1879, 2, 31), abordado vehementemente por Wallace al denunciar el dilema que este suponía: *“No hay escapatoria a este dilema: o toda la materia es consciente, o la conciencia es algo distinto de la materia”* (Wallace 1871, 360). No obstante, entre los evolucionistas como Spencer, Huxley o Romanes, predominaba una visión monista neutral de sustancia, muy cercana en algunos casos al materialismo. En palabras de éste último: *“los fenómenos mentales y los físicos, aunque aparentemente diversos, son realmente idénticos”* (Romanes 1895, 83).

Esta idea tan simple tuvo grandes implicaciones para el pensar decimonónico por lo que no es de extrañar la compleja variedad de soluciones planteadas a sus preguntas, entre las que destaca la evolución emergente de Morgan. La preocupación principal de Morgan era la aparición, en una naturaleza que se percibía como continua y ordenada, de *novedades genuinas*, como son la vida, la mente y el pensamiento reflexivo, pero también de átomos y moléculas. Es decir, dado que la evolución ha de ser gradual debe haber una razón para justificar estas discontinuidades tan manifiestas. Morgan hacía hincapié en la *genuinidad*, es decir, algo más que un simple reordenamiento de los componentes (Morgan 1923, 1-2). Para buscar una explicación, parte de su enfoque es naturalista, con lo que quiere decir, al estilo de Spaulding, que todo, desde los átomos a la mente, es susceptible de ser analizado mediante los mismos métodos y que estos permiten alcanzar una explicación sin tener que recurrir ni a la intervención divina ni a ningún otro tipo de explicación sobrenatural. En este aspecto renuncia explícitamente a la *entelequia* de Hans Driesch y al *élan vital* de Henri Bergson (Morgan 1923, 2), con quien sin embargo comparte la idea de novedad (Blitz 1992, 91). La cuestión de si desde este enfoque se puede explicar ese *algo más* que aporta genuinidad es en lo que va a consistir su descripción de la evolución emergente.

Morgan estaba de acuerdo con Mill y Lewes en que lo resultante y lo emergente podían

converger en una causación conjunta dando lugar a lo que Bergson llamaba evolución creativa y Wilhelm Wundt comparaba con un acorde que hay que aceptar, como decía Samuel Alexander, *con piedad natural*. (Morgan 1923, 4). Morgan sostenía que la sonoridad del acorde es diferente de las tres notas separadas y no puede explicarse ni predecirse desde éstas. Comparte así con Lewes la idea de la imposibilidad de aprender lo emergente sin la experiencia, pero añade que lo resultante también debe ser sentido para conocerlo (1923, 5). Por lo tanto, añade también otra característica perdurable de la emergencia que es la imposibilidad de realizar análisis *bottom-up* sin un conocimiento previo *top-down*.

Este planteamiento hecho para explicar las novedades cualitativas se acompaña, como ya había propuesto Alexander un poco antes<sup>9</sup>, de una consideración de la realidad agrupada en niveles surgidos mediante emergencia. Como resulta lógico desde el enfoque monista de Morgan, debe haber una *sustancia* de la que proceda todo lo demás. Esta sustancia es susceptible de agruparse de modo resultante o de modo emergente, siendo el resultado de lo primero meros agregados y de lo segundo, una nueva entidad con propiedades genuinamente nuevas. La sustancia básica es el espacio-tiempo, noción procedente del esquema de Alexander y cuya inclusión probablemente se fruto de la influencia de la recientemente publicada teoría de la relatividad de Albert Einstein. Morgan afirma que del espacio-tiempo emerge la materia, con sus cualidades primarias y secundarias, caracterizada por eventos físico-químicos. De la materia emerge la vida, la cual sigue su evolución progresiva hacia la mente, con cualidades terciarias como la verdad o la belleza, de la cual emergerá finalmente una última cualidad a la que denomina deidad (Morgan 1923, 9-10). Según este plan, de una porción del ubicuo espacio-tiempo emerge la materia, de entre cuyas propiedades físicas y químicas sobreviene la vida. Parte de la vida da lugar a la mente y solo de la mente de algunos hombres emerge la cualidad de la deidad.

---

9 Morgan hace referencia al trabajo de Alexander en su *Emergence Evolution* dedicado a los niveles de la realidad. A la vista de esto podría parecer que la idea original procede del primero, pero como señala (Blitz 1992, 102), Alexander publicó las ideas a las que se refiere Morgan en 1920 en su obra principal, *Space, Time and Deity* (Alexander 1920) después de que Morgan hubiera desarrollado la idea entre los años 1912 y 1915, a pesar de no publicarlas hasta 1923. No obstante, Alexander reconoció la originalidad de Morgan y su actitud fue de colaboración.

“Del espacio-tiempo omnipresente surgen en el debido orden histórico lo inorgánico, lo orgánico y lo mental, en todos sus grados ascendentes, hasta que se alcanza en algunos hombres la cualidad de la deidad [...] es la deidad (D), una cualidad emergente que caracteriza sólo a ciertas personas en la etapa más alta y última de la evolución.”

(Morgan, 1923, p. 10)

Morgan y los demás emergentistas representarían esta idea en forma de pirámide con la sustancia primera en la base y la deidad en el ápice. Según este planteamiento, toda cosa existente se puede posicionar en algún punto de la pirámide en función de sus cualidades. Así los individuos con mente son a su vez seres vivos, materia y finalmente espacio-tiempo, y sus características se deben a las relaciones resultantes y emergentes de sus niveles inferiores. Estos niveles tienen una relación jerárquica y su existencia implica (a) que existe una complejidad creciente con una relación sucesivamente superveniente<sup>10</sup>; (b) que la realidad está en desarrollo; (c) que existe una escala de *riqueza* ascendente<sup>11</sup> y (d) que la realidad más rica conocida está en el vértice de la pirámide de la evolución emergente (1923, p. 203).

Por último, al tratar de explicar el motor en la emergencia, Morgan busca eliminar toda sospecha de agencia. Al contrario que otros emergentistas de su época, como Alexander, Morgan recurre a las *relaciones* entre componentes como responsables de la aparición de nuevos niveles. Considera de esta forma dos tipos de relaciones, unas intrínsecas, las que se dan dentro de la misma totalidad o sistema y otras extrínsecas, las que se dan entre varios sistemas (Morgan 1923, 19). Morgan introduce así las ideas de organización y reflexividad y no reflexividad en la relación entre niveles, las cuales son que son centrales en las perspectivas organizacionales contemporáneas desde (Polanyi, 1968) hasta (Moreno & Mossio, 2015) entre otros.

### 2.2.2 Broad, el vitalismo emergente y la formalización de la emergencia.

C. D. Broad utiliza el concepto de emergencia en su obra *Mind and Its Place in Nature* para

10 En (Morgan, 1923, p. 9) se usa el término *supervene* como un sinónimo de emerger y el término *supervenience* tendría por tanto un significado cercano al de causación descendente. Por tanto, no tiene relación con el término usado por (Kim, 1978).

11 Morgan usa *richness* para referirse a cercano a la perfección, a la deidad.

dilucidar entre la existencia de uno o varios tipos de sustancia material, es decir, entre posiciones monistas y pluralistas (Broad 1925, 38) a la hora de investigar la naturaleza de la mente. La idea es, mediante la emergencia, buscar un punto intermedio que elimine los problemas del mecanicismo y del vitalismo como formas de explicación monista y dualista clásicas (Blitz 1992, 117), aunque quizá, tal como ha señalado (Mclaughlin 1992, 75) la emergencia contraste más con el primero que con el segundo. Por un lado, Broad duda de un *puro mecanicismo* y, por otro, de un *vitalismo sustancial*, que califica de entelequia y misterio. No dice que ninguna de estas posiciones sea imposible, pero sí altamente insatisfactorias (Broad 1925: 57). En esta doble negación es donde Broad adopta la emergencia en el denominando *vitalismo emergente* (1925, 58) para el que desarrolla lo que denomina *teoría de la emergencia* suponiendo la primera formalización del concepto. Este vitalismo emergente parte de la asunción de que los *todos* formados por distintos componentes A, B y C en una relación R, que cumplen la misma relación R(A, B, C) tienen las mismas propiedades características. Añade que los mismos componentes pueden formar otras relaciones diferentes, por ejemplo S(A, B, C), de forma que tendrán otras propiedades diferentes. Finaliza afirmando que las propiedades de cada todo no pueden ser deducidas del completo conocimiento de las propiedades aisladas de A, B y C ni de otros todos diferentes a R (A, B, C) (Broad 1925, 61). Esta última cláusula, es el elemento diferenciador de la emergencia y por lo tanto el aspecto rechazado por el mecanicismo. Formulada de otra forma, se podría decir que los elementos A, B y C forman un todo en relación R, como bien podrían formar en relación S, sin que haya ninguna razón en los propios componentes, para que formen uno u otro. Broad se asombra de que los mecanicistas vean «*algo anticientífico y sobrenatural en la emergencia*» (1925, 73).

Como prueba de la emergencia habla de la necesidad del análisis *top-down* que ya vimos en Morgan, ejemplificada con el cloruro de plata.

*No cabe duda de que las propiedades del cloruro de plata están completamente determinadas por las de la plata y el cloro; en el sentido de que siempre que se tiene un conjunto compuesto por estos dos elementos en determinadas proporciones y relaciones se tiene algo con las propiedades características del cloruro de plata, y que nada tiene*

*estas propiedades excepto un conjunto compuesto de esta manera. Pero la ley que conecta las propiedades del cloruro de plata con las de la plata y el cloro y con la estructura del compuesto es, hasta donde sabemos, una ley única y última.*” (Broad, 1925, p. 64)

Así, el puro mecanicismo es para Broad *a priori* satisfactorio pero con un problema irresoluble de las propiedades emergentes y como *teóricamente* posible (1925, 70), pues considera una serie de limitaciones reales: a) problemas de cálculo para predecir una cualidad macroscópica a partir de las propiedades de sus componentes, problema que solventa con la participación del *alter ego* del demonio laplaciano al que denomina arcángel matemático; y b) dificultad de conocer toda la información microscópica. Aun así, habría un límite teórico en los *qualia*. En el caso del amoníaco, el arcángel matemático podría determinar muchas de las propiedades del compuesto “*pero sería totalmente incapaz de predecir que una sustancia con esta estructura debe oler como lo hace el amoníaco cuando llega a la nariz humana*”. (1925, 71).

Broad conjuga el enfoque mecanicista con el emergentista, abogando por niveles crecientes de complejidad regidos por dos tipos de leyes: unas leyes intra-ordinales o intra-nivel, que rigen dentro de cada nivel de un modo perfectamente mecanicista, y otras transordinales o ínter-nivel que “*conectan los agregados de los ordenes adyacentes*” (1925, 77-78).

Tras los emergentistas británicos, la emergencia sufrió un eclipse durante el segundo cuarto del siglo XX con el advenimiento del positivismo lógico del que resurgiría mediada la década de 1960, primero de la mano de Meehls y Sellars y seguido de (Campbell 1974) y (Sperry 1969) con el moderno desarrollo de la superveniencia y la causación descendente después.

En todo caso, los pilares de la emergencia ya estaban consolidados en los albores del siglo XX y ya fueron utilizados e interpretados de formas diferentes para los diferentes fines filosóficos, como se hace igualmente hoy. La existencia de propiedades emergentes implica establecer una continuidad a la vez que una discontinuidad entre los niveles superiores e inferiores, es decir, entre la entidad emergente y su base subyacente (Sartenaer, 2016, p. 4) lo que implica cierto grado de concesiones muy dependientes del enfoque previo.



### 3 Las propiedades emergentes en el discurso científico contemporáneo.

Charlie D. Broad, uno de los conocidos emergentistas británicos, en su *The Mind and Its Place in Nature* decía acerca de las propiedades del agua:

*El oxígeno tiene ciertas propiedades y el hidrógeno otras. Se combinan para formar agua, y las proporciones en que lo hacen son fijas. Nada de lo que sabemos sobre el oxígeno por sí mismo o en sus combinaciones con cualquier cosa que no sea el hidrógeno nos daría la menor razón para suponer que se combinaría con el hidrógeno en absoluto. Nada de lo que conocemos sobre el hidrógeno por sí mismo o en sus combinaciones con cualquier cosa que no sea el oxígeno nos daría la menor razón para suponer que se combinaría con el oxígeno en absoluto. Y la mayoría de las propiedades químicas y físicas del agua no tienen ninguna relación conocida, ni cuantitativa ni cualitativa, con las del oxígeno y el hidrógeno. Aquí tenemos un claro ejemplo de un caso en el que, hasta donde podemos decir, las propiedades de un conjunto compuesto por dos constituyentes no podrían haberse predicho a partir del conocimiento de las propiedades de estos constituyentes tomados por separado, o a partir de esto combinado con el conocimiento de las propiedades de otros conjuntos que contienen estos constituyentes.*<sup>12</sup> (Broad 1925, 62-63).

Este era el estado del conocimiento hace casi 100 años, conocimiento que ha avanzado mucho en la comprensión de la molécula de agua y en sus propiedades. A la vista de este ejemplo, creo que puede resultar interesante saber lo que en la actualidad sabemos acerca de

---

12 La traducción es mía

el agua y sus propiedades. Pero antes de hacerlo me gustaría fijar ciertas premisas con las que creo que no es difícil ponerse de acuerdo.

Así, cabe decir que el enfoque que se presenta aquí se va a fundar en primer lugar en una concepción que podemos denominar *materialismo*, es decir, en la creencia de que todo conocimiento acerca de la naturaleza hace referencia en última instancia a elementos materiales y a las relaciones, también naturales, que puedan darse entre estos. Por lo tanto, no vamos a considerar nada sobrenatural, bien sea una divinidad al uso, bien sea un *elan vital* con un origen indeterminado. Aunque esta postura parece disfrutar un amplio respaldo por parte tanto de los filósofos como de los científicos de la actualidad, el materialismo no ha sido siempre la postura predominante acerca del mundo natural. De hecho, muchas veces la noción de emergencia ha estado vinculada con ciertos aspectos sobrenaturales no siempre explícitos. Soy consciente por tanto que la asunción del materialismo puede suponer una restricción, pero creo que es la forma menos controvertida de acercarse al problema, aun cuando se trate de una asunción metafísica *a priori*.

### 3.1 Las partículas elementales

Consecuentemente, tomaré como punto de partida que toda la materia existente sobre la Tierra<sup>13</sup> está formada por tres tipos de partículas subatómicas, a saber, protones, neutrones y electrones<sup>14</sup>, que se unen en distinta proporción para dar lugar a los átomos. Estos, en función de la cantidad de partículas subatómicas que contengan, en particular del número de protones, forman los diferentes elementos químicos, de los cuales conocemos poco más de una centena los cuales clasificamos en la tabla periódica. La unión entre las tres partículas se debe a la interacción de los cuatro tipos de fuerza (P. Atkins, 2003) existentes en el universo: a) la fuerza nuclear fuerte, que mantiene unidos a los protones con los neutrones y a los protones entre sí a pesar de su repulsión eléctrica; b) la fuerza nuclear débil, relacionada con los *quarks*

---

13 Voy a ceñir el estudio a los materiales terrestres para hacer referencia exclusivamente a la materia, dejando fuera, por ejemplo, la antimateria y la materia oscura.

14 Inicialmente y por razones prácticas, no voy a descender del nivel subatómico, pero es evidente que se podría hacer el mismo análisis desde los quarks incluso descender hasta las teóricas cuerdas. No obstante, más adelante discutiré de este aspecto.

y tan pequeña comparada con la anterior que podemos desconsiderarla<sup>15</sup>; c) la fuerza electromagnética, que mantiene a los electrones alrededor del núcleo atómico; y d) la gravedad, tan pequeña a esta escala que también podemos prescindir de ella, de momento. Estos elementos se unen de diferente forma dando lugar a estructuras llamadas moléculas que gozan de mayor o menor estabilidad. Las moléculas, a su vez, pueden unirse o agregarse en combinaciones cada vez más variadas formando superestructuras, que a su vez forman súper-súper-estructuras que se siguen agrupando dando finalmente forma a todo lo materialmente existente. Por lo tanto, desde un punto de vista estrictamente material, no cabe duda de que todo está formado por los mismos componentes. Lo inerte, lo vivo y aquello, si lo hubiera, que en función de las definiciones no somos capaces de encuadrar en ninguna de estas dos clases, están formados por el mismo tipo de partículas. Además de este tipo de interacción, no debemos olvidar que algunos de esos elementos no se unen en moléculas discretas, sino que forman redes poco variadas formando sólidos cristalinos o en continuos monoatómicos fuertemente organizados formando lo que llamamos metales puros.

Hecha esta introducción, pensemos ahora en un observador que estudie un nivel cualquiera de esta sucesión. Desde su perspectiva, verá que su nivel tiene varios *escalones*<sup>16</sup> inferiores y varios superiores. Si éste tuviera el tamaño de un protón, apenas distinguiría estructuras por debajo de él, y las superiores serían tan grandes que no las diferenciaría. Baste con saber que la distancia entre los dos protones de los núcleos de una molécula de hidrógeno ( $H_2$ ), la más pequeña posible, es de 44.000 veces el radio del propio protón, por lo que sería equivalente a detectar una pelota de baloncesto a algo más de 5 km de distancia. Los dos electrones de dicha molécula se moverían por una amplia región alrededor de ambos núcleos pero, teniendo en cuenta su pequeño tamaño, sería muchísimo más difícil de detectar<sup>17</sup>. Nosotros, los humanos individuales, estamos en un punto intermedio de esa escala de estructuras, muy alejados en tamaño de los protones, pero no tanto del planeta. Somos siete órdenes de

---

15 A lo largo de la investigación veremos lo importante que supone este tipo de desconsideraciones a la hora de poder establecer las relaciones todo-parte.

16 El uso del término *escalón* es solo una forma de hablar, veremos más adelante que precisamente en el hecho de que existan o no escalones en el sentido de discontinuidades puede estar la clave del problema.

17 No me refiero a la incertidumbre de Heisenberg, sino a una simple cuestión de tamaño y distancia.

magnitud más pequeños que la Tierra, pero dieciséis órdenes mayores que los nucleones. Cuando el devenir de los descubrimientos científicos nos han hecho conocedores de los *niveles* inferiores a nosotros, tradicionalmente aparatos, órganos, tejidos, células, orgánulos, macromoléculas, moléculas y átomos, hemos adquirido inmediatamente la noción de ser un todo con respecto a esas partes. Sin embargo, cuando hemos aprehendido que nos agrupamos en poblaciones, ecosistemas y biomas nos resulta muy difícil asumir que seamos componentes de una entidad superior, sino que nos consideramos, a nosotros y a los demás seres del mismo nivel, como partes que se relacionan pero que mantienen su identidad. Así, un hepatocito *es parte* (componente) de mí, mientras que *yo tomo parte* (intervengo) en un ecosistema. De esta manera, el ser parte o ser todo es una cuestión arbitraria y, si prescindimos del observador, bien podríamos considerar de igual forma a cada partícula subatómica de forma individual que a la Gaia lovelockiana (Lovelock, 1993).

### 3.2 Las moléculas y sus propiedades

Por lo tanto, las partículas elementales (sean éstas las que sean), son lo único existente<sup>18</sup>, pues su agrupación en estructuras superiores depende de su nivel energético en cada momento y de su percepción por un observador. Cuando el nivel energético de cada partícula lo permite, neutrones y protones pueden asociarse formando núcleos que a su vez atraen a los electrones formando átomos. Así, en el interior de las estrellas, las partículas son incapaces de mantenerse unidas, mientras que en nuestro planeta el nivel energético permite que ciertos elementos tengan estabilidad.

Esta asociación de partículas elementales no da lugar a combinaciones aleatorias, sino que, en función de determinados parámetros, adquiere una configuración u otra. La física cuántica explica cuales son las combinaciones permitidas, explicando en función del número de protones qué número de electrones puede contener ese átomo y cómo se distribuyen. Así, sabemos que en un átomo, el número de protones y el de electrones en condiciones ideales debe ser el mismo, aunque en ciertas circunstancias puede variar. Pero esta variación tampoco es azarosa, sino que obedece de nuevo a características de sus componentes. La solución de la

---

18 En el caso de considerar válida alguna de las teorías de cuerdas las partículas elementales serían éstas, pero no cambiaría el enfoque.

ecuación de onda de Schrödinger muestra las regiones del espacio alrededor del núcleo en la que se pueden encontrar los electrones. De esta forma, el hidrógeno y el helio pueden tener hasta un máximo de dos electrones en su última y única capa; los elementos del denominado grupo A, que contiene entre otros a la mayoría de los átomos que forman la materia orgánica, como son el carbono, el nitrógeno, el oxígeno, el fósforo o el azufre, pueden tener en esa última capa hasta ocho electrones. Y así para todos los elementos. Además, según el principio de exclusión de Pauli, dos electrones con idénticas propiedades (mismos números cuánticos) no pueden compartir orbital, lo que reduce a dos la ocupación de estas regiones. Debemos observar que de esta propiedad tan *sencilla* emana la posibilidad de existencia de la materia. De no ser así, los orbitales se podrían solapar y toda la materia «*quedaría reducida a un grumo uniforme de anodino mejunje*» (P. Atkins, 2003, p. 178). Otra ley básica, la de la *búsqueda* de la mínima energía, hace que un elemento manifieste la tendencia a tomar o perder electrones de forma que tenga su última órbita completa. Así, un átomo de oxígeno atraerá el par de electrones que le faltan para alcanzar el menor nivel energético posible y, de esta forma, lograr estabilidad, mientras que un átomo de hidrógeno tendrá la tendencia contraria, es decir, la de perder su único electrón, si bien también le valdría la acción contraria y completar su único nivel.

Supongamos un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno cuyos niveles energéticos sean los adecuados para manifestar la tendencia a ganar o perder electrones y lo suficientemente cerca como para influirse mutuamente. Lo que ocurrirá es lo previsible, esto es, el oxígeno atraerá al solitario electrón de cada hidrógeno, pero sin conseguir arrebatárselo, por lo que los acercará hacia sí hasta cierta distancia a partir de la cual la repulsión eléctrica de los protones de los núcleos de ambos elementos impediría una mayor aproximación. De esta manera, el nivel energético del oxígeno y de los dos hidrógenos *unidos* resulta menor que cuando se encontraban separados por tener cada uno de ellos sus últimas capas completas, aunque sea compartiendo electrones, por lo que, para ciertas energías, la unión será estable y duradera. El resultado es una molécula formada por dos hidrógenos y un oxígeno a la que denominamos óxido de hidrógeno<sup>19</sup>. Podemos tener la tentación de denominar *agua* a esta molécula, pero al

---

19 A pesar de que la molécula descrita tiene como fórmula  $H_2O$ , no la denomino agua, su nombre más común para diferenciar la molécula individual de su forma macroscópica.

nivel al que la estamos analizando no podemos realizar tal afirmación. El agua es una sustancia líquida, incolora, inodora e insípida con ciertas propiedades ópticas, químicas y físicas. Esta molécula única, el óxido de hidrógeno, ni es líquida, ni insípida, ni presenta ningún valor de índice de refracción. Esas propiedades tienen sentido para una cantidad macroscópica de moléculas, para no para una sola molécula.

Esta nueva molécula, vista por un observador de un tamaño similar al suyo, se verá como un objeto nuevo, con diferentes propiedades. Una de las primeras cosas que llamarán la atención del observador será su *forma*, es decir, su nueva distribución electrónica. El oxígeno, que en estado atómico tenía seis electrones en su última capa, ahora tiene ocho ocho, por lo que su distribución alrededor del núcleo deberá cambiar por una simple cuestión de repulsión eléctrica. La reordenación se hace en cuatro pares de electrones orientados en forma tetraédrica<sup>20</sup>, es decir, uniformemente repartida en el espacio, de manera que los nuevos orbitales moleculares<sup>21</sup> quedan distribuidos en áreas de 120°. Pero los cuatro pares de electrones no se comportan igual. Dos de los pares están compartidos, con los hidrógenos, mientras que los otros dos pares no lo están, y esta diferencia es suficiente para alterar el ángulo de la molécula<sup>22</sup>. Pero, además esto tiene otra consecuencia. Los dos pares de electrones sin compartir son susceptibles de producir enlaces covalentes coordinados<sup>23</sup>, por lo que este óxido se unirá a moléculas o átomos *necesitados* de un par de electrones para alcanzar la estabilidad, en ocasiones desplazando a otros.

---

20 Esta distribución electrónica es la explicada por la teoría de los electrones de valencia (EV) propuesta en 1927 por Walter Heitler y Fritz London. No obstante, no deja de ser una de las dos teorías que explican la configuración electrónica de una molécula, siendo al otra la de los orbitales moleculares (OM) desarrollada por Friedrich Hund (1929) y Robert Mulliken (1932). Ambas teorías son compatibles con los resultados, aunque están basadas en preceptos ontológicamente incompatibles (Lombardi & Martínez González, 2012, p. 664).

21 Estos orbitales moleculares híbridos recibe el nombre de orbitales  $sp^3$  y se forman entre átomos que van a enlazar electrones distribuidos entre el orbital  $s$  y los tres orbitales  $p$ , como es el caso del oxígeno, pero también del carbono. (Lehninger, 1985, p. 41)

22 El verdadero ángulo entre los dos hidrógenos es de 104,5°. (Lehninger, 1985, p. 42)

23 Son un tipo de compartición de electrones en los que un átomo, en este caso el oxígeno, pone el par de electrones y su *partenaire* no aporta ninguno, lo que provoca una cierta polaridad en la molécula.

Hago aquí un inciso para remarcar que las referencias a la *forma de la molécula* es una forma de hablar, pues como se puede deducir de lo dicho un poco más atrás, las moléculas no tienen forma, pues las distancias entre los núcleos y los electrones son tan grandes que se percibiría solo como espacio hueco. Y lo mismo se puede decir de la *necesidad* de los átomos por captar electrones, que no es más que una forma de expresar una tendencia natural o el cumplimiento de las leyes naturales. Por más que lo intentemos resulta casi imposible, además de confuso, evitar el punto de vista humano, por lo que, como concesión a la claridad expositiva, voy a seguir hablando de esta forma habitual en las ciencias, remarcando las expresiones en cursiva.

Continuando con las características electrónicas de nuestra molécula, destaca también la asimétrica distribución de los electrones compartidos por el oxígeno y los hidrógenos. La *tendencia* del oxígeno a atraer hacia sí a los pares de electrones compartidos, su electronegatividad, es mayor que la de los hidrógenos, por lo tanto, el par de electrones comunes está ligeramente desplazado hacia el oxígeno, de forma que queda parcialmente cargado de forma negativa, mientras que los hidrógenos lo hacen positivamente. Por lo tanto, la molécula es sutilmente polar por lo que tendrá diferente comportamiento eléctrico en sus extremos<sup>24</sup>. A todo esto hay que añadir la irregular distribución de los electrones compartidos<sup>25</sup> que dan lugar a dipolos instantáneos y variables que determinan las fuerzas de dispersión de London y que son susceptibles de inducir polaridad en moléculas adyacentes.

Introduzcamos ahora una segunda molécula de óxido de hidrógeno y pongámoslas lo suficientemente cerca como para que puedan interactuar. Pueden ocurrir tres cosas en función del estado de cada una de las moléculas. Una de ellas es la formación de un enlace covalente coordinado entre uno de los pares de electrones sin compartir de uno de los oxígenos con uno de los hidrógenos de la otra molécula. Así tendremos como resultado dos iones: un ion hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) y un ion hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ). La segunda situación que puede darse es la atracción electrostática entre el polo positivo de una de las moléculas y el negativo de la otra o, dicho de otra forma, una fuerza de atracción entre el oxígeno pseudocargado

---

24 A la intensidad de esta polaridad se la denomina momento dipolar

25 Como ya he señalado, los electrones no están localizados en un lugar fijo, sino que se mueven dentro de unas regiones más o menos determinadas por la ecuación de onda.

negativamente y uno de los hidrógenos pseudocargado positivamente. La atracción, denominada enlace de puente de hidrógeno, es más débil que los enlaces por compartición de electrones intramoleculares, pero lo suficientemente fuerte como para mantenerse en determinadas condiciones<sup>26</sup>, lo que se podría representar como  $(\text{H}_2\text{O})_2$ . La tercera situación es que ambas moléculas no interactúen y se queden como están. Un observador del tamaño de las moléculas verá, bien dos objetos idénticos, cuando no interactúan, bien dos diferentes, cuando hay ionización, bien uno de tamaño doble, cuando se forma un puente de hidrógeno.

A la vista de esto, podría parecer que el que se de una u otra situación es algo aleatorio, pero eso no es así. Cada electrón de cada molécula tiene una posición y una velocidad en cada momento, independientemente de que nosotros podamos o no conocerla. El principio de incertidumbre de Heisenberg alude precisamente a la imposibilidad epistemológica de dicho estado, a su impredecibilidad. Por lo tanto en cada momento la distribución electrónica de cada molécula de óxido de hidrógeno es una concreta y no otra, y de ello se deduce que nuestra pareja de moléculas esté ionizada, unida por puentes de hidrógeno o encontrarse de forma independiente. Pero, además, el estado de las moléculas va cambiando conforme sus electrones se mueven pudiendo, en base a la energía que tengan que vencer, deshacer la ionización, romper el enlace de hidrógeno o todo lo contrario. En función de esto, podemos establecer un promedio de los diferentes estados que nos sirva para predecir comportamientos, pero debemos ser conscientes de que esto introduce un error que se amplificará conforme aumentemos el nivel del foco y hagamos más simplificaciones.

### 3.3 Escalando niveles

Demos ahora un salto cuantitativo, y consideremos una cantidad superior a 10.000 de nuestras moléculas (Park, 2013)<sup>27</sup>. Por la misma razón que antes, se podrán dar las tres opciones presentadas, solo que ahora, al haber muchas, no hay disyunción y pueden darse

---

26 Esta diferencia energética será clave en mi posterior tesis. Por ahora lo dejo apuntado en esta nota al pie.

27 Jeong Park calcula que para que se manifiesten las propiedades del agua se necesitan 7.616 moléculas de agua en una caja cúbica o 10.458 en un caja esférica. Evidentemente se basa en un cálculo pero resulta igualmente evidente que debe tratarse de un número determinado de moléculas para unas condiciones determinadas.

todas las situaciones al mismo tiempo. Unas pueden unirse por puentes de hidrógeno mientras que otras se ionizan y otras no se ven alteradas y viceversa. Además, una vez que una molécula adquiere uno de los estados, influye en el estado de las adyacentes, por lo que nos encontramos ante un proceso dinámico inducido. Pero en esta nueva situación nuestro observador es de un tamaño ligeramente superior al del total de las moléculas, y su capacidad de observación le impide distinguir su individualidad, de la misma manera que no detecta los enlaces de hidrógeno, ni los enlaces dativos y los iones, sin embargo, observa consecuencias de estos. Ve, por ejemplo, que esta sustancia se distribuye superficialmente ocupando todo el recipiente que lo contiene, a lo que denomina *ser un líquido*. La razón de esta particularidad es que las moléculas de agua están formando enlaces de hidrógeno con una frecuencia tal que en vez de comportarse como moléculas individuales lo hacen como grupos de moléculas  $(H_2O)_n$  de manera que necesitan un nivel energético más elevado que en forma individual para escapar las unas de las otras y ocupar todo el volumen que las contiene, algo que nuestro observador llama *ser un gas*. Además, como consecuencia de los enlaces de hidrógeno, nuestro observador percibe que la superficie libre tiene una resistencia elevada a ser penetrada, lo que denomina *tensión superficial*. Una tercera observación es la que se refiere a la cantidad de iones hidronio e hidróxido presentes. Como no se pueden detectar y contar, el observador introduce una magnitud a la que denomina  $pH^{28}$  y que no es sino una valoración promedio de la cantidad de iones hidronio presentes. Así tenemos, según lo explicado, que la liquidez, la tensión superficial y el pH son propiedades que aparecen a partir de cierta cantidad de moléculas pero que en realidad son la consecuencia previsible de las características del nivel de organización previo.

Por lo tanto, estas cualidades tradicionalmente denominadas *propiedades emergentes*, no son sino propiedades promedio medidas desde un determinado nivel de observación. Pero, quizá esta sencillez provenga de analizar una molécula pequeña y sencilla y un conjunto de estas moléculas agrupadas exclusivamente entre ellas. Tradicionalmente, la emergencia hace referencia a propiedades de sistemas complejos, y el ejemplo puesto hasta ahora no destaca

---

28 El pH es una medida basada en el logaritmo decimal de la proporción de iones hidronio en un determinado volumen, por lo que acumula los errores de la medida amplificados por la escala logarítmica.

precisamente por eso. Además, hay ciertas propiedades del agua, como su capacidad refrescante que no parece sencillo que sean establecidas a partir de sus componentes.

La cuestión que se plantea aquí es por lo tanto poliédrica, por lo que intentaré desentrañar sus aristas de una en una. De entrada, hasta ahora hemos hablado de un conjunto más o menos grande de moléculas exclusivamente de H<sub>2</sub>O. Sin embargo, en la naturaleza no existe este fluido teórico. La sola exposición al aire ambiental y al suelo va a hacer que se produzca la disolución de gran cantidad de moléculas en su seno dando lugar a lo que, desde una óptica macroscópica, denominamos agua natural. Gases como el oxígeno, el nitrógeno o el dióxido de carbono difunden desde la superficie, mientras que sales como cloruros, carbonatos o fosfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio se disuelven desde el suelo<sup>29</sup>. Cada una de estas moléculas presenta una estructura química que da lugar a ciertas propiedades, como en el caso del H<sub>2</sub>O. El simple hecho de hablar de moléculas individuales carece completamente de sentido para intentar explicar las propiedades y el comportamiento de esta mezcla. Basta con recordar que, según lo aceptado, en 18 gramos (1 mol) de agua existen  $6,02214076 \cdot 10^{23}$  de moléculas de agua<sup>30</sup>.

Por lo tanto, todas estas moléculas se van a comportar en el agua en función de sus propiedades. Los sólidos iónicos, por ejemplo, se disociarán formando iones que interaccionarán entre sí y con la pequeña proporción de agua ionizada modificando la cantidad libre de ellos. Además, pueden interaccionar entre sí manteniéndose en disolución, formando gases que se evaporarán o formando sólidos insolubles, antes inexistentes, que precipitarán. Todas estas reacciones dan lugar a una disolución que tendrá unas características microscópicas y macroscópicas dependientes de las propiedades de sus componentes. Como no resulta manejable hablar en términos de moléculas individuales, los científicos han

---

29 Esta es una simplificación de las sustancias que se disuelven en las aguas naturales de las que he excluido las de origen orgánico.

30 Este valor de la constante de Avogadro se considera exacto desde la revisión efectuada en la 26ª Conferencia General de Pesas y Medidas celebrada en el año 2018. El valor previo era de  $6,022\ 141\ 29(27) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , lo que suponía una incertidumbre de orden 15. (Valores obtenidos de CODATA 2018, comprobado por última vez el 12/07/2021 en <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?na>)

acuñado términos macroscópicos para referirnos a ellas: concentraciones, gradientes, pH, etc.

Pero además de objetos macroscópicos con propiedades macroscópicas, las disoluciones tiene una dinámica, lo que nos lleva a hablar de acciones. Una vez están las sales en el agua no se llega a un estado estacionario en el que hay cierta cantidad de moléculas en cada forma posible, sino que hay un equilibrio dinámico, de forma que podemos decir que, mientras no introduzcamos perturbaciones, se mantendrán cierta cantidad de cada una de ellas pero en continuo cambio. Se trata pues de equilibrios entre concentraciones y, para comprenderlos, se apela a un nuevo concepto, la constante de equilibrio, que nos indica la proporción de cada componente en función de velocidades de transformación en una y otra dirección.

Veamos la cantidad de incertidumbre que hemos acumulado desde que formamos el átomo: la posición de los electrones en los orbitales, la distintas *opciones* de la molécula de agua una vez formada más la de las demás moléculas disueltas, el paso de considerar moléculas a concentraciones, la asunción de los equilibrios y de sus constantes, etc. Y, aunque lo hemos dejado en el aire, no hay que dejar de considerar otros factores como la fuerza nuclear débil que determina el número de neutrones en los núcleos atómicos, y una fuerza que si bien para pequeñas masas es insignificante, pero a medida que aumentamos su valor su influencia se dispara, es decir, la gravedad. Pero aún hay más, la temperatura en vez de energía cinética individual de cada molécula, la presión parcial como medida indirecta de la concentración de gases, la capacidad para conducir una corriente eléctrica, etc. Como ejemplo de magnitud indirecta podemos pensar en el calor específico, definido como la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de una determinada masa de agua, es decir, calor promedio, para energía cinética promedio para una cantidad de moléculas promedio. Mucha incertidumbre, pero una relación de composición evidente.

Lo visto hasta ahora, a pesar de su complejidad, no deja de ser abordable de una forma determinista. Sin embargo, hay un aspecto que podría dar al traste con la predictibilidad. Me refiero a la posible aleatoriedad introducida por la mecánica cuántica. Por ahora me referiré a ello con un simple apunte. Actualmente hay dos interpretaciones de lo que ocurre a nivel cuántico. Simplificando mucho son aquella que dice que a) efectivamente existe esa aleatoriedad en la transición micro – macro, representada en el fenómeno del colapso de la

función de onda conforme a la interpretación de Copenhague (P. Atkins, 2003, p. 263) o aquella otra b) que habla de la *decoherencia* entre estados cuánticos y que aboga por un determinismo entre ellos en base a interferencias causales del entorno (2003, p. 269). En cualquier caso, esa aleatoriedad quedaría situada *antes* de la formación de los átomos, por lo que lo analizado hasta ahora valdría igualmente.

Unos párrafos antes he hablado de una propiedad del agua diferente a las demás, me refiero a la *refrescosidad*, o a las propiedades organolépticas en general. Hasta ahora, he descrito propiedades mensurables de forma, digamos, independiente de nuestra percepción, bien de las moléculas individuales, como la masa o la energía, bien de unas pocas moléculas, como el tipo de enlace o la ionización, bien de una cantidad grande de moléculas, como la tensión superficial, la temperatura o el pH, bien de una mezcla de moléculas, como la solubilidad. Pero esta propiedad, la de resultar refrescante, no solo depende de una mezcla de sustancias, pues es la concentración de CO<sub>2</sub> y de otras sales la responsable de que el agua resulte fresco y no el propio H<sub>2</sub>O, sino que depende de su interacción con ciertos receptores sensoriales humanos y con la conversión de esta interacción en sensación dentro de nuestro sistema nervioso central. Si intentáramos que una máquina nos dijera si un vaso de agua es más o menos refrescante deberíamos programarla para medir las concentraciones de ciertas sustancias disueltas y establecer un criterio de baremación. Por lo tanto, la *refrescosidad* es una propiedad del agua natural con respecto a la función de relación humana y eso lo lleva a otro nivel de análisis diferente.

A la vista de todo esto, las propiedades que aparecen al aumentar la complejidad son completamente dependientes de sus elementos componentes y deducibles a partir de las propiedades de ellos, luego las llamadas propiedades emergentes son propiedades que emanan de los componentes más que de la organización. Es decir, son dependientes del nivel de observación, de forma que aunque tuviera un metro cúbico de agua, si yo fuera del tamaño de una molécula y observara a ese nivel vería solo las propiedades de ese nivel y no las inferiores ni las superiores. Además, el hecho de que dependan de los componentes no significa que no lo hagan de la organización, siempre que la entendamos como las relaciones existentes entre las partes que vienen determinadas por sus propiedades y, por consiguiente y en última

instancia, reducibles a ellas.

Sin embargo, esta visión reduccionista no es el paradigma dominante en la filosofía de la ciencia actual. Ciertamente que en el caso del agua, es decir, de una sustancia compuesta por una única molécula formada a su vez por solo dos tipos de átomos, y con un nivel de complejidad basada en la agregación, apenas hay niveles de organización, si es que se los puede llamar así. Pero cuando la complejidad es mayor, como es el caso de la materia viva o de la mente, la cosa cambia. Si bien los avances científicos de los dos últimos siglos han ido clarificando la estructura de la materia, la complejidad es tan grande que ha surgido la propuesta de la emergencia como una solución al problema de las nuevas propiedades. Este hecho ha sido especialmente importante en el estudio de la vida, de la evolución y de la mente, dando lugar a distintas interpretaciones y a diferentes caracterizaciones de las propiedades emergentes.



## **4 Niveles de organización como intervalos de cuasi-descomponibilidad**

### **4.1 Una brevísima introducción a la idea de nivel**

Para comprender la noción de propiedad emergente es preciso detenerse a analizar la idea de nivel de organización de la materia. En la ciencia en general, pero sobre todo en la biología, es una asunción generalizada que la naturaleza puede dividirse en niveles. De hecho, la propia subdivisión de la ciencia de la vida se hace en base a esta asunción. Así, disciplinas como la biología molecular, la citología, la histología, la fisiología, la biología de poblaciones, la ecología, etc., se caracterizan por estudiar un cierto nivel del mundo orgánico. Esta asunción está en la base de la práctica de la biología y puede rastrearse en los mismos manuales de cualquier nivel formativo.

La misma noción de propiedad emergente es dependiente de la identificación de propiedades de estos niveles. Una propiedad emergente sería un fenómeno que puede observarse en un determinado nivel y que no puede entenderse como resultante de la mera agregación de los elementos que componen niveles inferiores.

Al igual que con la idea de emergencia, los antecedentes de las concepciones contemporáneas de la noción de nivel de organización de la materia se remontan también a los emergentistas británicos (Eronen, 2015, p. 2). Como ya se ha señalado, Morgan habla de un nivel básico, el espacio-tiempo, a partir del cual se organiza (por emergencia) la materia, de entre cuyas propiedades físicas y químicas sobreviene la vida. Parte de la vida da lugar a la mente y solo de la mente de algunos hombres emerge la cualidad de la deidad (Morgan, 1923, pp. 9-10).

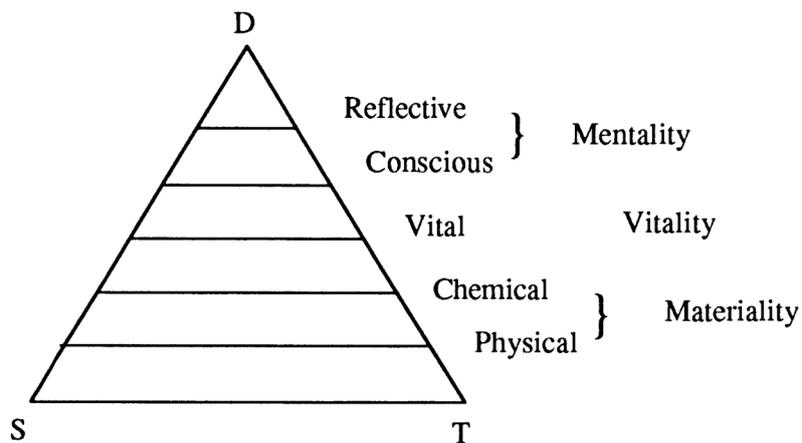


Figura 1: Niveles de Morgan. Extraído de (Blitz, 1992, p. 104)

Samuel Alexander, otro de los emergentistas británicos, plantea de igual forma una estructura jerárquica de la realidad basada en niveles, pero con diferencias importantes respecto a la propuesta de Morgan. Propone un nivel básico, el espacio-tiempo<sup>31</sup>, en el que ambos componentes son inseparables pero a su vez tienen propiedades diferenciadas. Así, mientras el tiempo es el principio del movimiento y el cambio, el espacio es el soporte pasivo en el que actúa el primero (Blitz, 1992, p. 114). A partir de esta sustancia básica, emergen los demás niveles de la realidad pero, al contrario de lo que defendían otros emergentistas de la época como el mismo Morgan, de aquí no surge la materia, sino las cualidades primarias y secundarias, a partir de las cuales, ahora sí, emerge la vida, la mente y la deidad. Cada uno de los niveles tiene su propio y peculiar *proceso* o *método de comportamiento* en virtud de su organización y su complejidad (Alexander, 1920, pp. 45-46), algo que puede entenderse como leyes de nivel, que no son deducibles ni sirven para predecir los procesos de los niveles previos ni posteriores.

Sin embargo, es a partir de 1958 cuando en (Oppenheim & Putnam, 1958, p. 9) se establece la clásica división horizontal de la materia en partículas elementales, átomos, moléculas, células, seres vivos multicelulares y grupos sociales. En su descripción, estos niveles eran globales, tenían una relación de composición con los niveles subyacentes y se correspondían con los niveles de ciencia (Eronen & Brooks, 2018), y eran válidos desde su punto de vista

31 La idea de espacio-tiempo la toma Morgan de Alexander

microrreductivo (Eronen, 2015, p. Nota 3). Esta aproximación se caracterizaba por plantear una correspondencia 1:1 entre la ciencia y la naturaleza, es decir, *que para cualquier “disciplina fundamental” de la ciencia, cada uno de sus predicados, leyes y teorías puede reproducirse de manera que refleje los fenómenos naturales que cada ciencia investiga en su dominio* (Brooks, 2017, p. 9). De esta forma, Oppenheim y Putnam consideraban la existencia de los niveles como algo independiente de su marco de pensamiento y por tanto lo planteaban como una cuestión ontológica. Es quizá este enfoque el que ha hecho que a pesar de nacer vinculado a una concreta forma de reducción y que esta forma de reduccionismo se abandonó en favor de las tesis de Nagel y Schaffner, ha quedado arraigado en los debates filosóficos, tanto para reduccionistas como para antirreduccionistas.

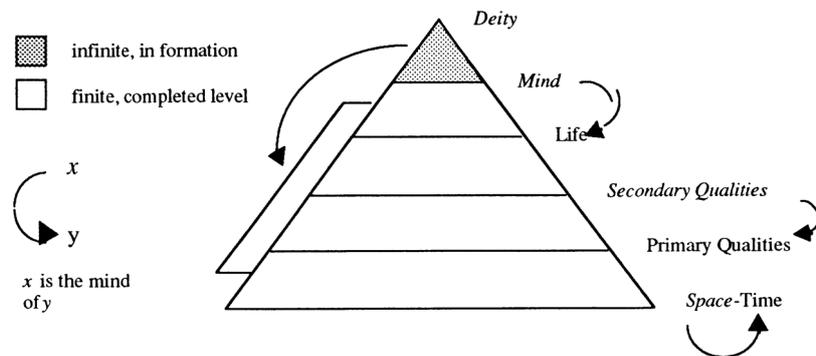


Figura 2: Niveles de Morgan. Extraído de (Blitz, 1992, p. 116)

Este modelo de capas (*layer cake*) ha sido criticado en varios aspectos. Uno de ellos es la idealizada correspondencia entre los niveles y campos científicos, como en el caso de disciplinas internivélicas como la neurociencia (ver por ejemplo (Craver, 2007)). Otro es la pretendida obligatoriedad de que cada nivel esté formado obligatoriamente por elementos del nivel inferior (Potochnik & McGill, 2012, p. 121) como ejemplifica Brooks con la difícil adaptación a casos biológicos como el tejido sanguíneo.

*Consideremos la sangre como una entidad nominalmente de nivel tisular. Trivialmente, la sangre no está compuesta exhaustivamente por las entidades del nivel inferior (celular) nominalmente adyacente. Más bien, la sangre también está compuesta directamente por una variedad de cosas en niveles no adyacentes (es decir, sin intermedio) como proteínas, azúcares, lípidos, vitaminas, metabolitos y hormonas. De*

hecho, la sangre también está compuesta directamente por elementos de niveles organizativos aún más bajos, como las entidades químicas moleculares (por ejemplo, el agua y el oxígeno molecular). (Brooks, 2017, p. 4)

No obstante, la idea de nivel se mantiene y el modelo de capas recibe una revisión por William (Wimsatt, 1976, p. 253)<sup>32</sup> introduciendo la idea de máximos locales de regularidad. Según Wimsatt, en la materia hay ciertas regularidades que alcanzan máximos locales en los que se sitúan los niveles. Estos máximos suponen “las juntas” por las que la ciencia se propone cortar la Naturaleza, algo posible porque de hecho existen estas juntas (Wimsatt, 1976, p. 237) . Estos máximos locales no son universales sino que dependen, entre otras cosas, de si forman parte de seres vivos o no, como se puede ver en su “tentativa” de división (ver figura 3).

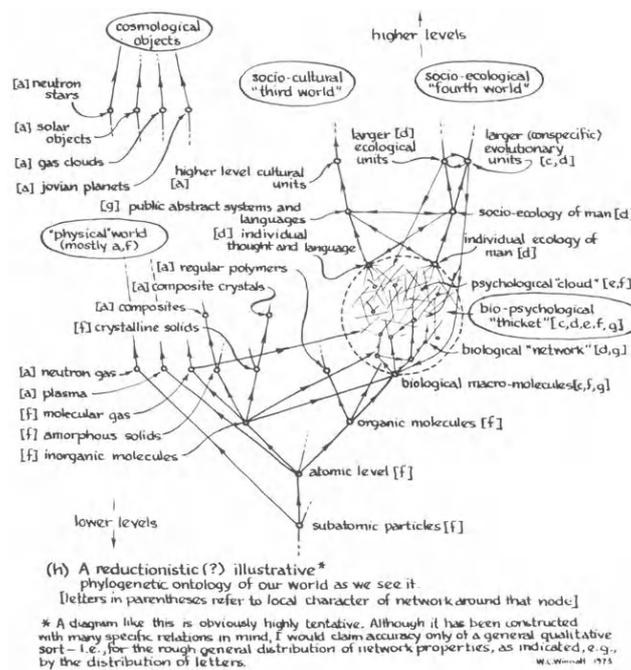


Figura 3: "Tentativa" de niveles de organización de William Wimsatt (1976)

Estos niveles se distinguen, al menos en parte, por el tamaño de los objetos, que se encuentran en relación de composición, de manera que los que se sitúan al mismo nivel están gobernados por las mismas leyes y exhiben fuerzas de similares magnitudes. Además,

32 Ver también (Wimsatt, 1994)

presentan relaciones regulares y predecibles y son detectores fiables de otras, por lo que se pueden hacer teorías en cada nivel, labor que se llevará a cabo mediante diferentes metodologías que caracterizarán a la ciencia encargada de ese nivel. Además, los distintos niveles exhiben diferencias entre ellos como como el ritmo al que ocurren los procesos (más lentos cuanto más arriba), las propiedades de los niveles superiores muestran realizabilidad múltiple en base a las inferiores y la causalidad “arriba” es independiente de la de “abajo” (Eronen & Brooks, 2018). Sin embargo en casos de mucha complejidad, como en los casos de los seres vivos, los niveles se rompen y solo pueden verse desde diferentes perspectivas.

Este enfoque no carece de problemas y estos tienen que ver con la laxitud de la definición de máximos locales o demasiada complejidad, como ha señalado (Craver, 2007) y recogen (Eronen & Brooks, 2018). La solución que plantea Wimsatt es, de nuevo, laxa cuando introduce el concepto de robustez: “*las cosas son robustas si son accesibles (detectables, medibles, derivables, definibles, producibles o algo parecido) de varias maneras independientes.*” (Wimsatt, 1994, p. 2) , no solo las entidades, sino también *propiedades, relaciones e incluso proposiciones, así como para las estructuras más amplias -niveles y perspectivas* (1994, p. 2).

Una de las principales críticas a las dos ideas de nivel anteriores llega de uno de los representantes máximos del mecanicismo actual, Carl Craver. En *Explaining the brain* hace una taxonomía de niveles (Craver, 2007, p. 164) que contrastará con la visión clásica de Wimsatt. Con la idea de nivel de Wimsatt como punto de partida, Craver se hace tres preguntas que deben contestarse a la hora de establecer una clasificación de niveles. La primera cuestión es sobre los elementos que deben situarse en los distintos niveles. La segunda pregunta pretende aclarar en virtud de qué criterio se sitúa a dos elementos en distinto nivel. La tercera, muy relacionada con la anterior, consiste en encontrar el criterio para situar dos elementos en el mismo nivel (Craver, 2007, p. 171).

Con la primera pregunta, Craver se refiere a la naturaleza de los elementos de los niveles, distinguiendo dos posibilidades. Por una parte, sitúa elementos de ciencia, con lo que se refiere a constructos epistémicos, bien sean productos de ciencia, como análisis, descripciones, modelos explicativos o teorías, o unidades de ciencia, como los paradigmas

kuhnianos o los programas de investigación de Lakatos. Por otra, aloja elementos de naturaleza, entendidos como elementos que describen ítems del mundo, tales como actividades, entidades, propiedades y estados (Craver, 2007, p. 171).

En el primer grupo, el niveles de ciencias, Craver sitúa los niveles clásicos ya citados de Oppenheim y Putnam y la versión “afinada” de Wimsatt. Craver rechaza este modelo por una parte debido a su significativos saltos entre niveles, a la falta de niveles superiores tales como ecosistemas o sistemas solares, o a la linealidad de los mismos (Craver, 2007, p. 173) y por otra parte, por su visión de la interacción entre elementos de diferente nivel, ejemplificada en el mecanismo de memoria a largo plazo (Craver 2007, 175). Este último aspecto, da pie a su interpretación de la causación internivel (Craver & Bechtel, 2007).

El segundo grupo, niveles de naturaleza, lo subdivide Craver a su vez en tres: causales, de tamaño y de composición. El primero de ellos hace referencia a relaciones de procedimientos, como la visión, o de control, como la mayor parte de la regulación del metabolismo, en el que se establecen relaciones de causa y efecto entre elementos de diferente tamaño y nivel clásico. Este enfoque plantea una explicación del todo por las partes, por lo que *“uno debe violar la común asunción de que las relaciones causales son contingentes y que causa y efecto debe ser completamente distintas”* (Craver, 2007, p. 179). El segundo de los tipos de nivel de naturaleza es el de tamaño, tipo que considera el más común pero muy problemático para una explicación satisfactoria, especialmente en neurociencia. Precisamente en este campo, Churchland y Sejnowski habían propuesto una categorización de niveles basándose en el tamaño, empezando por un tamaño molecular, siguiendo por uno subcelular y continuando por asociaciones crecientes de neuronas<sup>33</sup> (P. S. Churchland & Sejnowski, 1988, pp. 741-742). Es en esta clasificación por tamaños en donde Craver plantea de nuevo la duda de la relación internivel. Por un lado, opina que es evidente la interacción entre elementos de diferente tamaño, “nadie estaría en desacuerdo con esto” (Craver, 2007, p. 182), pero por otra parte, cree que establecer una relación causal entre niveles es cuando menos problemático. Sin embargo, afirma que existen regularidades entre entidades de distintos niveles, aunque evidentemente no de tipo causal.

---

33 Los niveles de organización propuestos en su modelo del sistema nervioso son moléculas, sinapsis, neuronas, redes, capas, mapas y sistemas

El tercer y último tipo de niveles de naturaleza es el de niveles de composición, tipo que a su vez va a dividirse en cuatro subtipos diferentes: mereológico, de agregatividad, de mera contención espacial y de mecanismo. El primero de ellos es el enfoque más reduccionista, pues implica la inexistencia de propiedades emergentes. Craver descarta su validez explicativa en el campo de la neurobiología. Resulta evidente que si, por ejemplo, reordenamos las células del hipocampo de forma aleatoria, éste no resultará funcionalmente igual que antes (Craver, 2007, p. 185), pero no es menos cierto que nadie describiría un conjunto de células sin incluir su posición y, por lo tanto, la relación espacio-temporal de cada uno de los elementos del todo. La asunción de un principio emergentista clásico, “[...] los mecanismos son siempre literalmente más que la suma de sus partes” (2007, pp. 185-186) es significativa del enfoque del autor. En segundo lugar, Craver hace referencia a niveles de agregatividad, esto es, de niveles en los que sus componentes no tienen ninguna relación entre ellos más que los de acumular cantidad. El análisis de Craver de la agregatividad es clásico y se basa en las cuatro condiciones de Wimsatt, esto es, intersustitución, escala de tamaño, descomposición y reagregación y linealidad (Wimsatt, 1997, p. S376). Craver identifica en tercer lugar los niveles de mera contención material/espacial para referirse a la división de un todo, más que en partes, en particiones, como sería la división de un puzzle. Esta división en fragmentos en vez de en componentes resulta inútil desde una perspectiva explicativa, pero sirve para poner de manifiesto la necesidad de un análisis top-down previo a la “decisión” de la división en partes. Por último, Craver hace referencia a los niveles de mecanismos, división que va a defender como la base de la explicación mecanicista.

Siempre desde la perspectiva de la explicación en neurobiología, Craver considera que la mejor opción son cierto tipo de niveles de composición, pero no con base espacial o material (Craver, 2007, p. 189). Estos niveles están formados por entidades y actividades que cumplen dos grupos de premisas. Por una parte, están de acuerdo con las premisas que Wimsatt considera que debe contemplar un nivel, a saber, que sean composicionales, pero no simples niveles de tamaño y que puedan alojar regularidades. Por otra, Craver añade nuevas características al concepto de nivel, destacando que los niveles no están formados por objetos pasivos correspondientes a entidades clásicas, sino por objetos actores (entidades que actúan). Craver usa de ejemplo la sinapsis entre dos neuronas. Una división clásica distinguiría una

neurona pre-sináptica y otra post-sináptica, entendiendo la brecha interneuronal como una separación entre componentes, mientras que el enfoque mecanístico entiende la porción terminal de la neurona pre-sináptica, la hendidura y la porción inicial de la neurona post-sináptica como una entidad cuya actividad es la transmisión del impulso nervioso. Podría pensarse que Craver necesita difuminar los límites entre la entidad y el entorno. Al hacer esto, Craver elimina la limitación que supone la separación clásica entre diferentes entidades e introduce claramente al ambiente en la relación. Resulta evidente la visión enfocada a la función de Craver al rechazar la visión monolítico-estructural según la cual las células forman órganos, estos a su vez organismos, etc. Craver cree que es mejor hablar de jerarquías particulares en vez de considerar estructuras anidadas generales, de ahí que haga afirmaciones como: “ésta célula piramidal está en el nivel de mecanismo inferior de este hipocampo” en vez de decir que “las células piramidales están en el nivel de mecanismo inferior de los hipocampos” o “las células están en el nivel de mecanismo inferior de los órganos” (Craver, 2007, p. 191). Así, un mecanismo concreto se puede dividir en sus componentes, lo que no implica que otro similar se pueda descomponer en los mismos componentes.

Según este enfoque, no se puede decir si dos objetos formen parte del mismo nivel salvo que pertenezcan al mismo mecanismo (2007, pp. 191-193) e incluso si profundizamos en los niveles, tampoco se podría asegurar en ningún caso que dos entidades de mecanismos distintos están a un mismo nivel. Así, un mecanismo X se puede descomponer, por ejemplo, en dos componentes,  $X_a$  y  $X_b$ , que se consideran del mismo nivel por ser una descomposición primaria de X, pero si se descomponen  $X_a$  y  $X_b$  en submecanismos, no se puede afirmar que estos y sus componentes estén al mismo nivel. Conforme nos alejamos del mecanismo, los submecanismos anidados dejan de tener consideración de mismo-nivel. Surge por lo tanto un problema cuando queremos observar una interacción entre distintos mecanismos o entre elementos de diferente tamaño. Desde esta perspectiva, un nivel es un mecanismo concreto que lleva a cabo una actividad y el nivel inferior a este sería aquél que está formado por los componentes del mecanismo.

La elección de niveles de mecanismos supone para Craver y Bechtel una solución al debate reduccionista de la explicación de la causación internivel, especificando esta solución en tres puntos. Por una parte, separan la cuestión de la causación internivel de la relación causal entre

entidades de diferente tamaño. Según lo explicado arriba, no se puede hablar del mismo o de diferente nivel si hablamos de dos mecanismos diferentes, luego hablar de relación internivel entre mecanismos diferentes carece de sentido. Esto es lo mismo que decir que si no existe una relación de constitución (composición) entre elementos de diferentes mecanismos, no hay problema al considerar relaciones causales entre elementos de diferente tamaño. Por consiguiente, solo ven problemática la causación internivel cuando hay una relación constitutiva, y por lo tanto, a ella se van a ceñir (Craver & Bechtel, 2007, p. 550). En segundo lugar, afirman que los niveles no son monolíticos, sino definidos contextualmente, lo mismo que las ciencias, insistiendo en que no hay razón por la que una categoría ontológica, como las moléculas, no pueda interaccionar con otra, como las células. Para finalizar, Craver y Bechtel intentan compatibilizar su enfoque mecanístico con la de la emergencia de propiedades. Para ellos, los niveles superiores son explicables por mecanismos por definición. En contraposición, consideran fuertemente emergente, a aquella que no puede explicarse por mecanismos, incluso aunque emerjan de la organización de un mecanismo (Craver & Bechtel, 2007, p. 551). Sin embargo, afirman que lo fuertemente emergente emana de una consideración de nivel caracterizada por no ser de tipo constitutivo, y que por lo tanto no se corresponde con la concepción de nivel por ellos defendida. Además, afirman que la idea de la causación internivel dentro del surgimiento de propiedades emergentes es diferente de la causación descendente en propiedades mundanas, por lo que creen que pueden desvincular la idea de la emergencia y la de la causación descendente. No obstante, como ellos mismos afirman, dan la sensación de querer evitar la emergencia por decreto (Craver & Bechtel, 2007, p. 550).

En los tres casos precedentes, la idea subyacente al concepto de nivel se mantiene, sin embargo, esta introducción quedaría corta sin no se tuviera en cuenta la perspectiva escéptica que aboga por eliminar o al menos limitar su consideración y su uso. Estas críticas hacen referencia a la ya citada obligatoriedad de los niveles inferiores de formar niveles superiores, a problemas de tamaño entre elementos del mismo nivel como ballenas y levaduras (o entre los componentes de éstos, como corazones y membranas<sup>34</sup>) o a la relación existente entre esta

---

34 Resulta interesante, aunque poco desarrollado, el apunte de (Potochnik & McGill, 2012, p. 135) respecto a los niveles intermedios o cuasi-niveles cuya esencia es similar a la propuesta que desarrollo más adelante y

misma ballena y sus simbioses (ver apartado 2.4 de (Eronen & Brooks, 2018)). Pero además de estos trabajos orientados a restringir su uso hay otros que apuntan a sustituir o reinterpretar el discurso de los niveles en términos de composición y escala (Eronen, 2015, p. 54).

#### **4.2 Herbert Simon y los sistemas cuasi-descomponibles.**

Entre los trabajos clásicos que ofrecen análisis de la organización de la materia se encuentra el texto en el que se desarrolla la idea que utilicé como herramienta filosófica central de todo mi trabajo. En 1962 Herbert Simon en su artículo *Arquitectura de la Complejidad* distingue, en su disquisición acerca de las relaciones entre los subsistemas de una estructura jerarquizada, entre sistemas a los que denominaba “descomponibles”, en los cuales las relaciones entre sus subsistemas eran claramente distinguibles, y los que llamaba “cuasi-descomponibles”<sup>35</sup> (*nearly-decomposable systems*), en los que dichas relaciones eran no tan claramente discernibles si bien no despreciables. Desde una perspectiva teórica, los sistemas cuasi-descomponibles se caracterizan en que en el corto plazo el comportamiento de sus subsistemas componentes es *aproximadamente independiente* entre sí, mientras que en el largo plazo dependen solo de forma agregativa (Simon, 1962, p. 474).

En su descripción de este tipo de sistema, Simon propone el ejemplo de una casa con un aislamiento térmico perfecto, formada por habitaciones bien aisladas subdivididas en cubículos mal aislados, cada uno de los cuales cuenta con un termómetro. Si anotamos la temperatura que marcan estos termómetros una vez se encuentre bajo los efectos de una fuente de calor (como una chimenea o el mismo sol), observaremos que los cubículos y las habitaciones tienen en un primer momento temperaturas diferentes, pero que pasado un tiempo la temperatura comenzará a homogeneizarse. Primero lo hará entre cubículos debido a su mal aislamiento, posteriormente se igualará la temperatura entre habitaciones, pues a pesar del aislamiento, lo están de forma deficiente. Así, el sistema *casa* será cuasi-descomponible en subsistemas *habitación* y estos a su vez en subsistemas *cubículo* (1962, p. 474). Los

---

que no conocía cuando desarrollé mi idea.

35 La traducción de *nearly-decomposable systems* como *sistemas cuasi-descomponibles* se debe a la edición en español de varios textos de Simon bajo el título “*Las ciencias de lo artificial*” traducido de su idioma original por Jean-pierre Carachapalo,

valores de flujo térmico se podrían representar en una matriz de datos como descripción del sistema cuasi-descomponible. El flujo entre cubículos será mayor que el flujo entre habitaciones, por lo que, según donde pongamos nuestro límite, los cubículos serían un ejemplo de cuasi-descomponibilidad, mientras que las habitaciones serían descomponibles.

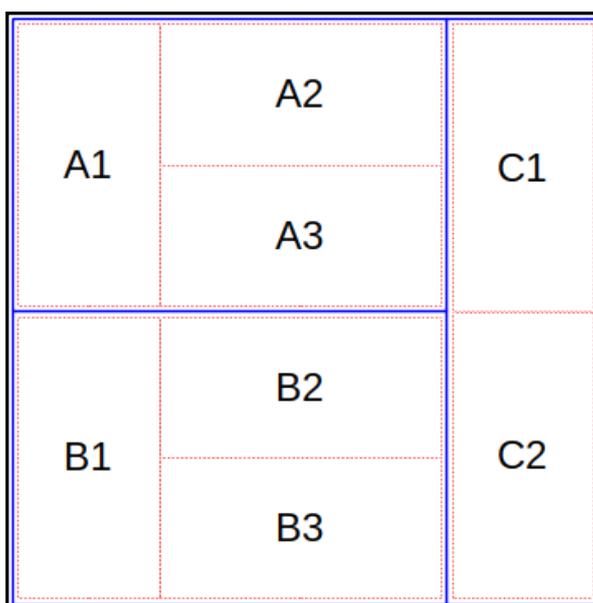


Figura 4: Representación de una casa de Simon. Las líneas negras exteriores determinan el sistema casa, las azules las habitaciones A, B y C y las líneas rojas de puntos los cubículos: tres en A, tres en B y dos en C

Simon habla de un valor  $\epsilon$  que *decidimos arbitrariamente* y que nos sirve como delimitador. De hacerlo así, veríamos que, en un corto plazo, la diferencia de temperatura entre cubículos habría desaparecido, por lo que disponer de un termómetro en cada uno de ellos resultaría superfluo y valdría con uno por habitación (1962, p. 475). Resulta obvio que si, en vez de utilizar un  $\epsilon$  o *criterio de cuasi-descomponibilidad* concreto utilizamos otro, podríamos decir que los subsistemas *habitaciones* serían cuasi-descomponibles. Si en vez de utilizar un solo criterio, usamos dos ( $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$ ), tendremos la distinción entre dos subsistemas cuasi-descomponibles anidados.

Supongamos que ampliamos el campo de observación y miramos desde una perspectiva más amplia, de forma que la vivienda de Simon, su sistema aislado, forme parte de un grupo de cuatro viviendas adosadas, que a su vez forma parte de una urbanización de cuatro de esos

adosados.

Ahora podemos determinar diferentes criterios de cuasi-descomponibilidad ( $\epsilon_n$ ) según el subsistema al que nos queramos referir y tendríamos varios  $\epsilon_n$  que distinguirían cubículos, habitaciones, casas, adosados, etc. Así, tendríamos que cada subsistema cuasi-descomponible estaría delimitado por dos  $\epsilon_n$  y sería definible por lo que podríamos llamar *intervalos de cuasi-descomponibilidad*  $I_{(i, j)}=[\epsilon_i, \epsilon_j]$ . Manteniendo esta nomenclatura, podemos denominar a los cubículos como  $I_{(0, 1)}=[\epsilon_0, \epsilon_1]$ , a las habitaciones como  $I_{(1, 2)}=[\epsilon_1, \epsilon_2]$ , a las casas como  $I_{(2, 3)}=[\epsilon_2, \epsilon_3]$ , a los adosados como  $I_{(3, 4)}=[\epsilon_3, \epsilon_4]$  y a la urbanización como  $I_{(4, 5)}=[\epsilon_4, \epsilon_5]$ . Todos serían sistemas cuasi-descomponibles y por tanto se influyen de forma no despreciable.

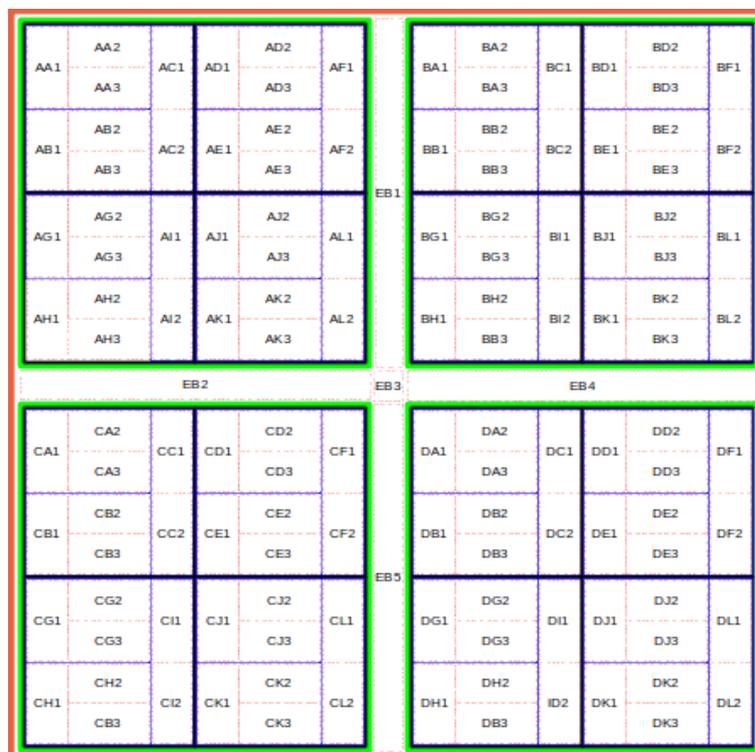


Figura 5: Ahora las líneas verdes agrupan cuatro casas de las anteriores formando un adosado y las rojas continúan la urbanización de cuatro adosados.

Simon parte de una situación de equilibrio que evoluciona sin injerencias, por ello llega un momento en el que es suficiente con un termómetro en cada habitación y, pasado un tiempo, uno para la casa, adosado o urbanización. Esto es así porque se alcanzaría un equilibrio

estático al formar parte de un sistema aislado. Pero si en cada cubículo hay un radiador se establecerá un equilibrio dinámico de manera que habrá un gradiente térmico centrado en los radiadores. Es decir, habrá una diferencia continua y la ubicación de solo un termómetro en cada cubículo, habitación, vivienda, adosado o urbanización dependerá de una decisión arbitraria, determinada por algún tipo de interés, bien explicativo, bien predictivo, bien metodológico, etc. Si la finalidad es conocer como influye la temperatura de cada casa en la urbanización, observaremos solo en el intervalo  $I_{(2,3)}=[\epsilon_2, \epsilon_3]$ , promediando su temperatura sin importar sus gradientes internos ni las temperaturas de sus habitaciones y cubículos, a pesar de que la temperatura está determinada, en última instancia, por ellos. Como efecto *no deseable* de esta simplificación, aparecería una artificial uniformización del sistema, pudiéndose pensar que los distintos intervalos tienen idéntico comportamiento, efecto más marcado cuando más complejo sea el sistema.

Simon considera la casa como un sistema aislado, es decir, perfectamente descomponible, cuando estrictamente no existen tales sistemas. Es como si pensara en un valor límite de  $\epsilon$  por encima del cual los sistemas pasaran de cuasi-descomponibles a perfectamente descomponibles. Sin embargo, no da ninguna razón que lo justifique. Si ampliamos más el caso y pensamos en un barrio formado por urbanizaciones y un pueblo formado por barrios, es cierto que la influencia de cada cubículo es muy pequeña, pero no es despreciable, pues aunque es una cantidad mínima comparada con la procedente del sol, es la responsable de que la temperatura en los pueblos sea sensiblemente mayor que en una zona deshabitada. Si imaginamos un pueblo como éste en un imaginario lugar sin sol, resulta evidente que la diferencia entre el pueblo y las afueras serían importantes. Por lo tanto, la segunda condición de Simon para los sistemas cuasi-descomponibles, “*a largo plazo, el comportamiento de cualquiera de los componentes depende únicamente de modo agregativo del comportamiento del resto de los componentes*” (Simon, 1962, p. 474), no se satisface mientras los sistemas sigan generando desigualdad.

### **4.3 La arbitrariedad del criterio de cuasi-descomponibilidad**

En la caracterización que hace Simon de los sistemas físico-químicos (1962, p. 475) se plantea la aplicación de un criterio basado en la diferencia energética entre enlaces covalentes

y débiles. De esta manera, en función del valor de  $\epsilon$  que elijamos, podemos discriminar las asociaciones. Si situamos  $\epsilon$ , como dice Simon, justo por debajo del valor energético del enlace covalente, estableceremos que las moléculas son sistemas cuasi-descomponibles, mientras que aquellas uniones basadas en enlaces más débiles, son interacciones intermoleculares. Por esto consideramos el  $\text{H}_2\text{O}$  como una molécula, mientras que la interacción entre varios hidrógenos y oxígenos por enlaces covalentes y de hidrógeno  $(\text{H}_2\text{O})_n$ , la vemos como un conjunto de moléculas y no como una macromolécula. Esta distinción si bien es relativamente clara en los enlaces covalentes, no lo es tanto en los de tipo iónico y ni en los metálicos. Simon determina el criterio de cuasi-descomponibilidad en base a la energía de enlace, pero puede escogerse cualquier criterio en función del fin perseguido.

No obstante, esta partición propuesta por Simon no carece de problemas. Siguiendo con el agua, varias moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  se unen entre sí mediante puentes débiles de hidrógeno. Estas uniones se producen por el desplazamiento de los electrones compartidos dentro de la molécula de agua al ser el oxígeno más electronegativo que el hidrógeno. Este desplazamiento genera una polaridad en la molécula que provoca una atracción electrostática con moléculas propias. En el caso del agua, se produce entre el hidrógeno de una molécula (con carga parcial positiva  $\delta^+$ ) y el oxígeno de otra molécula, (con carga parcial negativa  $\delta^-$ ). Este enlace débil tiene una energía, en el caso del que se forma en el agua, de 21 KJ/mol.

Con estos datos parecería obvia la distinción entre moléculas por debajo de 460 KJ/mol y por encima de 21 KJ/mol, pero en realidad no resulta tan evidente. Cada tipo de enlace, hidrógeno – oxígeno (H-O), hidrógeno – hidrógeno (H-H), oxígeno- oxígeno (O=O), etc., tiene valores diferentes, que oscilan entre los 142 KJ/mol de un enlace O-O y los 941,4 KJ/mol de un enlace  $\text{C}\equiv\text{N}$ . Por su parte, los puentes de hidrógeno también se mueven en un amplio rango que oscila entre los 8 KJ/mol de la interacción  $\text{N-H}\cdots\text{H}$  y los 155 KJ/mol de la unión  $\text{F-H}\cdots\text{F}$ . Tras un análisis comparativo, vemos que los valores energéticos para considerar uniones intra o intermoleculares se solapan (en el caso del O-O y del  $\text{F-H}\cdots\text{F}$ ) por lo que no hay un criterio único posible para elegir los intervalos. La consideración de átomo o de molécula no es tajante, pues depende de dónde el observador sitúe la distinción y cuántas distinciones haga. Así, desde esta perspectiva energética, podemos elegir diferentes  $\epsilon_n$  que nos determinarán diferentes intervalos, comenzando por un nivel que consideremos como

fundamental y terminando por un nivel macroscópico  $M$ , pasando por múltiples niveles mesoscópicos anidados  $m_i$ . Comenzando en los átomos (o, si se prefiere en los leptones, los quarks o los hadrones), podemos esgrimir razones energéticas para establecer valores de  $\varepsilon_n$  que discriminen moléculas, células, organismos, poblaciones, etc.<sup>36</sup> Esta partición longitudinal de la materia en función de intervalos de cuasi-descomponibilidad (ICD) es asimilable a la clásica partición en niveles de organización. Y lo es en base a un criterio, el energético, que, si bien parte también de una cierta subjetividad, en tanto en cuanto no hay una razón energética objetiva para elegir este o aquel valor, no supone una elección absurda, pues pueden elegirse los valores de forma que encajen con los niveles considerados por los científicos, como son el nivel atómico, molecular, etc. Una consecuencia de la determinación de los niveles como ICD es la definición de los elementos propios de ese intervalo. Así, al determinar el ICD atómico, delimitamos los átomos, y al hacer lo propio con el nivel ICD molecular, definimos las moléculas. Una vez definidos los ICD, la investigación científica se encargará de su estudio y los describirá estructural y funcionalmente partiendo de un cierto nivel de observación. En función de sus metas epistémicas, el observador tomará solo aquellos inputs y outputs que considere necesarios estableciendo un sistema modelo que supondrá una simplificación heurística de la realidad. Esta pixelación se amplifica conforme ascendemos de nivel de manera que las generalizaciones observadas serán igualmente inexactas a cambio de resultar explicativas y predictivas.

Así, en función de  $\varepsilon_n$  habrá un “nivel fundamental aproblemático”<sup>37</sup> (Machamer et al., 2000,

---

36 Aunque al tratar con organismos o poblaciones no parece muy práctico utilizar la energía de enlace como criterio de descomponibilidad, es igualmente evidente que la unión entre individuos de una población es más débil que entre sus células.

37 Cuando hablamos de un nivel aproblemático o fundamental  $F$  nos referimos, como puede suponerse, al nivel de las propiedades físicas; nivel que, independientemente de las complicaciones derivadas de los nuevos desarrollos de la Física es considerado habitualmente como el nivel último que constituye la base para un reduccionismo ontológico. Esto va en la línea de lo defendido explícitamente por autores como (Machamer et al., 2000, p. 13) y (Glennan, 1996, p. 50). Desde el punto de vista de la Física, Roger Penrose aclara la diferencia entre el nivel cuántico y el clásico (Penrose, 1991, pp. 374-375), señalando explícitamente que las dificultades de la Física actual no suponen realmente un reto para el enfoque reduccionista. Tal y como dijo Paul Dirac, uno de los fundadores de la mecánica cuántica: “*The underlying laws necessary for the*

p. 13) o microscópico  $F$ , un nivel macroscópico  $M$  y múltiples niveles mesoscópicos anidados  $m_i, m_j, \dots m_n$ . De esta manera la relación entre los subsistemas superiores y los inferiores es simplemente composicional y, por lo tanto, la relación entre dos niveles diferentes es de *identidad*. Esto sugiere que, de igual manera que la casa de Simon era el conjunto de los cubículos agrupados en habitaciones, un ser humano es un conjunto de átomos agrupados en moléculas, en células, en tejidos, en órganos y en aparatos o sistemas. Pero no solo eso, sino que, mirando en el otro sentido, es un componente de poblaciones, ecosistemas y biomas, siendo un punto intermedio de un conjunto de sistemas cuasi-descomponibles anidados.

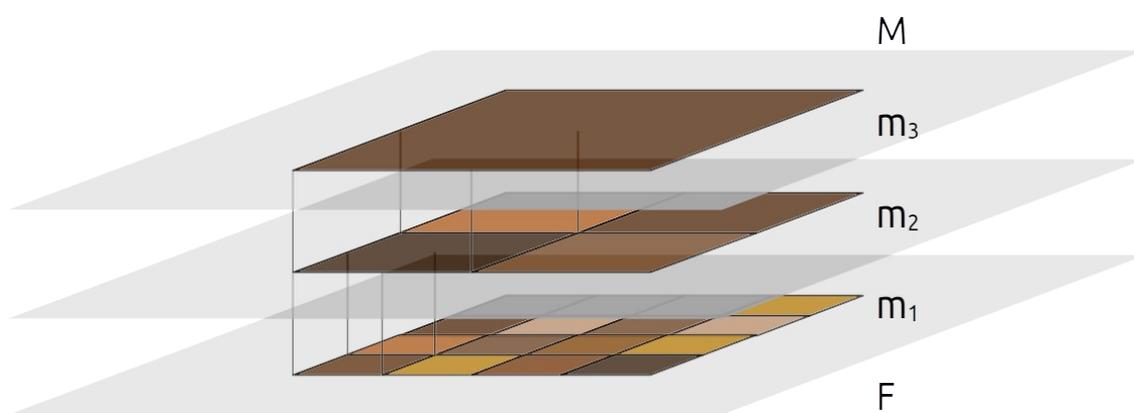


Figura 6: Niveles de organización como intervalos de cuasi-descomponibilidad

Los intervalos de cuasi-descomponibilidad no solo delimitan horizontalmente los niveles de organización de la materia, sino que condicionan verticalmente las diferentes entidades existentes en cada nivel, incluso elementos que debido a su naturaleza química no aumentan de complejidad. Si definimos un  $\epsilon_i$  en base al valor de energía del enlace covalente, definiremos el nivel molecular, pero también nos separará las moléculas como entes individuales. De igual manera, si ampliamos el  $\epsilon_i$  distinguiremos el nivel celular y las células individuales, el nivel de individuo y los individuos individuales, el nivel de población y las poblaciones individuales, etc. Sin embargo, conforme ascendemos hacemos discriminaciones arbitrarias en función de un análisis previo *top-down* que condiciona la observación. Así, si

---

*mathematical theory of a large part of physics and the whole of chemistry are thus completely known, and the difficulty is only that exact applications of these laws lead to equations which are too complicated to be soluble*" (Dirac, 1929, p. 714) tomado de (Mitchell, 2012, p. 172). Por otro lado, López Corredoira también hace un interesante análisis de esta cuestión aquí en (López Corredoira, 2004).

estamos hablando de poblaciones humanas, eliminamos los organismos no-humanos y los no-organismos, como el aire o el agua; si pensamos en organismos humanos, eliminamos las células no humanas y las no-células, y así sucesivamente, denominando *entorno* a todo lo que eliminamos, lo que supone una simplificación enorme.

Un aspecto importante a destacar es el relativo al estudio de los niveles. Como ya se ha señalado, la selección del nivel depende del valor del  $\epsilon_i$  y, dado que éste es arbitrario, su elección debe obedecer a algún criterio definible. Sin que esto signifique que no pueda existir otro principio, proponemos el uso de un criterio heurístico, y por tanto dependiente del *para qué* de la observación. Si el objeto del estudio es, por ejemplo, el plegamiento de una proteína, podemos pensar en un  $\epsilon_i$  que nos permita discriminar entre macromoléculas; mientras que si el fin de una investigación es analizar la relación de apareamiento dentro de una población, la elección heurística de  $\epsilon$  nos tiene que facilitar discernir entre individuos. Sin embargo esta elección no es sencilla, pues para comprender el plegamiento de una proteína debemos tener en cuenta elementos de niveles inferiores, como pueden ser protones determinantes del pH, de la misma forma que para entender el comportamiento de apareamiento hay que entender las bases fisiológicas de la reproducción.

Sea cual sea el criterio de elección de  $\epsilon$ , su función como límite superior del intervalo de casi-descomponibilidad va a establecer ciertas entidades discriminables como individualidades con sus propias características que deberán ser descritas de manera adecuada, para lo que debe existir una disciplina encargada de tal tarea. Así, siguiendo con los ejemplos anteriores, habrá una ciencia que abarque el estudio del apareamiento y por lo tanto del nivel de población, la etología, y otra dedicada al estudio del plegamiento de las proteínas y en general del estudio de las moléculas biológicas, la biología molecular. Cada una de estas ciencias trabajará dentro del campo de estudio determinado por la elección del intervalo de casi-descomponibilidad y tomará como *su* todo a esta partición. Sin embargo, en su estudio considerará las partes componentes que estime oportunas para poder explicar el funcionamiento de este todo. Así, la etología, además de las poblaciones, considerará a los individuos y su fisiología; mientras que la biología molecular ampliará su foco hasta las pequeñas moléculas y los átomos (como ya propusiera Mario Bunge, aunque con una intención diferente (Bunge, 1973, pp. 41-43)). De aquí podemos extraer la idea de que cada

ciencia, además de su propio  $\varepsilon$ , usará como criterios de sub-cuasi-descomponibilidad ( $\varepsilon_i^{\text{sub}}$ ) aquellos de las ciencias situadas en niveles inferiores. Igualmente, las ciencias encargadas del estudio de niveles mesoscópicos deberán considerar los niveles inmediatamente superiores para comprender la influencia de *sus* todos en los *otros* todos, y de manera análoga tomarán los  $\varepsilon_i$  de las ciencias de los niveles superiores como criterios de supra-cuasi-descomponibilidad ( $\varepsilon_i^{\text{supra}}$ ). De esta manera, con la elección de los niveles en los cuales una ciencia tiene *competencia secundaria* se establece lo que puede denominarse como intervalo ampliado de cuasi-descomponibilidad  $IA_{(i,j)}=[\varepsilon_i^{\text{sub}}, \varepsilon_j^{\text{supra}}]$ .

En la figura 7 se puede ver cómo quedaría estructurada la materia en función de la elección de varios  $\varepsilon_i$ . Si elegimos valores entre  $\varepsilon_{-2}$  y  $\varepsilon_2$  estaremos haciendo una partición de la materia en niveles entre dos valores de  $\varepsilon$ . Así, el intervalo  $I_{(-2,-1)}=[\varepsilon_{-2}, \varepsilon_{-1}]$  nos define el nivel -1, el  $I_{(-1,0)}=[\varepsilon_{-1}, \varepsilon_0]$  el nivel 0 y por último, el intervalo  $I_{(0,1)}=[\varepsilon_0, \varepsilon_1]$  establece el nivel 1. De cada nivel se encarga por consiguiente una ciencia, en este caso las ciencias C, B y A respectivamente. Cada ciencia indagará por debajo y por encima de su nivel con el fin de conocer mejor su objeto de estudio y necesitará determinar, por una parte, cuáles son sus subniveles y, por otra parte, de qué supranivel es componente. Por esto, la ciencia A, además de usar su criterio  $\varepsilon_1$ , tendrá en consideración los niveles inmediatamente inferior y superior, y por lo tanto contará con un intervalo ampliado de estudio  $IA_{(-1,2)}=[\varepsilon_{-1}^{\text{sub}}, \varepsilon_2^{\text{supra}}]$ .

Una vez definido el intervalo de competencia para cada disciplina, así como su ampliación, cada ciencia debe realizar una descripción de su objeto de estudio acorde a lo observable desde ese nivel, determinando así un *sistema*. Cada ciencia estudiará su propio intervalo, lo que consiste en distinguirlo de su entorno y describirlo estructural y funcionalmente. Esta descripción debe hacerse en función de la metodología de la ciencia en cuestión y utilizando una terminología propia, lo que implica el uso de propiedades detectables desde su nivel mediante sus métodos de investigación. Por lo tanto, tratará su intervalo como si de una caja negra se tratara, tomando solo aquellos *inputs* y *outputs* que considere necesarios para la finalidad del estudio, estableciendo un sistema modelo, haciendo una simplificación heurística de la realidad. Durante la descripción del sistema será posible detectar regularidades que podrán o no ser catalogadas como leyes.

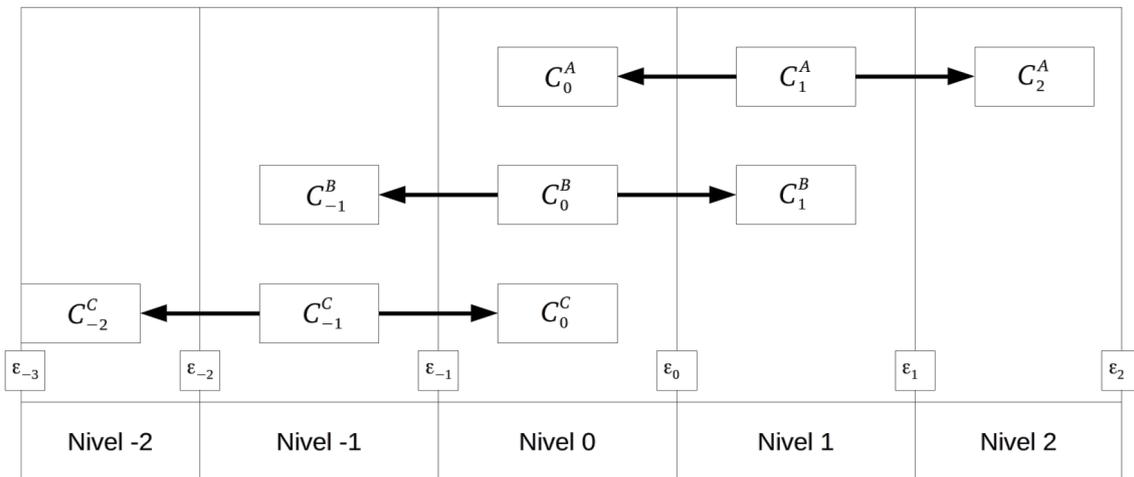


Figura 7: Niveles y ciencias especiales

Esta modelización, es decir, la descripción de un intervalo de cuasi-descomponibilidad en función de las propiedades de ese intervalo según la metodología de la ciencia de ese nivel, implica una simplificación importante. Un nivel determinado, por ejemplo el nivel 1, puede visualizarse como una caja negra que debe abrir la ciencia encargada de su estudio, por ejemplo la ciencia A. Al hacerlo, verá que su interior está ocupado por otras cajas negras formadas por sistemas del nivel inferior 0, de cuyo estudio se encarga la ciencia B. A su vez, estas cajas contendrán nuevas cajas que se corresponden al nivel -1, responsabilidad de la ciencia C. Este anidamiento de cajas terminaría en los citados nivel F, por debajo, y en el nivel M, por encima. Cuando la ciencia A va a describir fenómenos de su nivel no entra a analizar cada una de las cajas-subsistema, sino que se conforma con ciertos datos entrada-salida medidos desde su nivel y por lo tanto con valores promediados, o proporcionados por la ciencia B, que habrá hecho lo mismo en lugar de analizar la caja del nivel C. Por lo tanto, la mera toma de datos implica una pérdida de información asumida que influirá de forma importante en la observación de regularidades y en el establecimiento de leyes. Además, no todas las variables que forman parte de dicho subsistema se utilizan para su descripción, solo aquellas detectadas y consideradas relevantes.

Resulta evidente que para estudiar la regulación de la glucemia, por ejemplo, no resultaría práctico hacer una descripción de la localización de cada molécula de glucosa en la sangre a modo de distribución espacial. Para este estudio lo que resulta útil, y por lo tanto lo que nos

EMILIO CÁCERES VÁZQUEZ

permite alcanzar resultados que consideremos valiosos, es el uso de la concentración de glucosa en sangre aunque sepamos que se trata de un dato promediado y por lo tanto inexacto. Pero esto conlleva asumir que la ley planteada será igualmente inexacta, aunque lo suficientemente aproximada para ser práctica y permitir la explicación y la predicción.

## 5 Socavando los pilares de la emergencia

Esta noción de nivel como intervalo de cuasi-descomponibilidad supone toda una reconsideración de la naturaleza de las propiedades emergentes. Puede defenderse incluso que asumir que el mundo es una sucesión de niveles anidados en función de la selección arbitraria pero no caprichosa de ciertos criterios de cuasi-descomponibilidad fundamenta un eliminativismo con respecto a la idea de propiedad emergente. Para mostrar esto, en esta sección veremos como, a partir del enfoque desarrollado en las secciones anteriores, es posible dar cuenta, sin acudir a la idea de la emergencia, de los cuatro pilares de la emergencia definidos por Klee y que hemos citado anteriormente.

### 5.1 Impredecibilidad

La capacidad de predicción es explicable tanto desde la perspectiva emergentista como desde la reduccionista. Para hacerlo desde el primer enfoque, sus partidarios deberían demostrar que la impredecibilidad se basa en que las propiedades son debidas a la estructura y que ésta no depende de sus componentes, algo que aún no han hecho (Klee, 1984, p. 51). He apuntado anteriormente que Mill ya era consciente de que la impredecibilidad podría ser solo resultado de la ignorancia, así como planteaba la posibilidad de deducir todo hasta el nivel químico, donde encontraba una brecha, y continuar con la predicción completa desde ese nivel (Mill, 1843, p. 269). Eliminado este salto, la predicción podría ser absoluta. Spaulding también lo veía así cuando decía que *“es una cuestión abierta si esta imposibilidad se debe a la estructura de la existencia, o a nuestra ignorancia”* (Spaulding, 1912, p. 241).

La modelización que cada ciencia hace al trabajar con las simplificaciones de los intervalos

ampliados de cuasi-descomponibilidad está detrás de la impredecibilidad, máxime cuando somos ignorantes del grado, e incluso de su existencia. También puede darse el caso de que lleguemos a predecir dicha propiedad aunque de forma no identificable desde una perspectiva superior. Lo primero tiene como solución una mayor colaboración entre las ciencias implicadas en el estudio de los fenómenos identificados en los intervalos ampliados de cuasi-descomponibilidad, lo que traerá un conocimiento más detallado de los componentes y de sus relaciones. Un ejemplo es la dificultad de extrapolar los resultados obtenidos en la experimentación *in vitro* a sistemas *in vivo*, no solo por la influencia de la disolución, sino por los efectos de la multitud de moléculas que forman el medio celular. Esta aglomeración molecular (*macromolecular crowding*), desconocida hasta muy recientemente (véase (Hervás & Navarro, 2011, p. 89), nos ha permitido saber que la célula, y por extensión el organismo completo, es un trabado de moléculas siendo el disolvente poco más que una capa situada entre éstas, de ahí que se esté empezando a trabajar en simulaciones que emulan las condiciones de alta concentración. Esta saturación proteica haría *emerger* comportamientos cuya dificultad para ser explicados era achacada hasta ahora a la complejidad inherente a los entornos vivos, cuando en realidad se trataba de simple desconocimiento de esta aglomeración molecular.

La segunda razón está relacionada con la necesidad de un análisis previo *top-down*. Esto ya fue puesto en evidencia por Morgan (Morgan, 1923, p. 5). Este análisis *top-down* no debe verse como una consecuencia de la emergencia de propiedades, sino como una estrategia para delimitar las propiedades superiores relevantes con respecto a nuestros intereses. Un ejemplo es la investigación sobre el rol de la titina en la contracción muscular, más exactamente en la relajación de los sarcómeros de las fibras musculares. Desde un enfoque médico resulta interesante saber cómo se lleva a cabo dicha relajación, razón por la que se investiga a niveles moleculares descubriendo el papel de la titina, proteína que se desnaturaliza en la contracción y de cuya renaturalización depende la relajación muscular. Esta decisión tomada desde un enfoque *top-down* lleva a un análisis *bottom-up* mediante la observación de dominios aislados en proteínas individuales a través de técnicas de microscopía de fuerza atómica (AFM)<sup>38</sup>. Los

---

38 Gracias a Jorge Alegre Cebollada por mostrarme el laboratorio del CNIC y explicarme con detalle las funciones biológicas de la titina.

análisis han hallado una correlación cualitativa directa entre la acción de la titina y la relajación cardiaca, relación que se hace patente cuando al modificar la proteína interfiriendo en su renaturalización se altera la relajación cardiaca (Alegre-Cebollada et al., 2012). La dificultad para establecer una relación cuantitativa es debida, entre otras cosas, a que los análisis en el estudio según las técnicas AFM no reproducen el entorno *in vivo*.

Una consecuencia de la impredecibilidad sería la dificultad para llevar a cabo una reducción teórica al estilo nageliano (Nagel, 1961, pp. 443-520). Como quiera que las leyes establecidas sobre las regularidades observadas en los niveles superiores están basadas en datos modelizados, estas serán a su vez leyes simplificadas y por consiguiente *leyes-modelo*. Por tanto, y de igual forma que los estados de diferente nivel no son comparables, las leyes de distinto nivel tampoco lo son, lo que implica una imposibilidad en la práctica de realizar la reducción teórica. Sin embargo, esta afirmación no es una renuncia a un reduccionismo teórico, sino a su puesta en práctica habida cuenta de la inexactitud de las leyes superiores. No se puede establecer una identidad entre una ley inexacta y una exacta ni entre dos leyes inexactas. Sin embargo, no hay ninguna razón, más allá de la afirmación de la emergencia, que impida deducir una ley de un nivel superior a partir de leyes de niveles inferiores siempre y cuando se dispusiera de la capacidad suficiente. No obstante, es cierto que salvo algún éxito parcial, esta forma de reducción no ha dado los resultados esperados. La idea de leyes-puente que conecten leyes inferiores con leyes superiores parte de una dificultad de planteamiento que tampoco puede resolverse con la corrección de (Schaffner, 1974, pp. 617-618)<sup>39</sup> como ya señalaron Kuhn o Feyerabend (Rosenberg, 2007, p. 350).

## 5.2 Novedad cualitativa

El pilar relativo a la novedad cualitativa, a pesar de ser el más diferenciador de la emergencia, es quizá el más sencillo de explicar desde un enfoque reduccionista basado en la asunción de la cuasi-descomponibilidad de los niveles de organización. Cada intervalo de

---

39 Kenneth Schaffner propuso una variante de la reducción nageliana consistente en relacionar la teoría reductora con la reducida mediante funciones reductoras que poseen expresiones que escapan de la teoría reductora y que contienen parte de la “organización” que caracteriza los sistemas biológicos y que harían de la teoría reducida fuera, en “principio eliminable” (Schaffner, 1974, p. 615)

cuasi-descomponibilidad proporciona una perspectiva diferente, y las propiedades de cada uno de los niveles son descritas desde los condicionantes que imponen estas perspectivas. Por ejemplo, una molécula de  $H_2O$  viene determinada por la configuración electrónica de sus hidrógenos y su oxígeno, que se encuentran en un nivel inferior al de la molécula. Pues bien, al nivel de la molécula se pueden observar ciertas propiedades *novedosas* que no pueden tildarse de cualitativamente novedosas pues son deducibles desde sus componentes. La “forma” de la molécula o su polaridad son propiedades del intervalo y son perceptibles solo a ese nivel. Además, hay que considerar que al tiempo que *aparecen* estas propiedades *desaparecen* las propias de los átomos individuales. Si introducimos una segunda molécula de óxido de hidrógeno y las aproximamos lo suficiente como para que puedan interactuar ya hemos visto que pueden bien formar un enlace covalente coordinado dando como resultado un ion hidronio ( $H_3O^+$ ) y un ion hidroxilo ( $OH^-$ ), bien atraerse formando una unión débil llamada enlace de hidrógeno ( $H_2O$ )<sub>2</sub> o bien no interactuar. De nuevo hay novedades, tanto de objetos (hidronio e hidroxilo), como de propiedades (atracción electrostática), pero ambas explicables desde las propiedades del intervalo inferior. Al dar el salto cuantitativo ya explicado y pasar a una cantidad superior a 10.000 de nuestras moléculas ya podemos hablar de si el agua es líquida o gaseosa, tiene pH 7, determinada temperatura o un valor de calor específico concreto.

Del mismo modo que no se podría hablar de si un determinado volumen de agua es o no líquido si el observador es del tamaño de una sola molécula, o al igual que en el ejemplo de Simon no se podía concretar la temperatura de un cubículo conociendo la de la casa, ni conocer la existencia de la casa desde el cubículo. Por esto, proponemos denominar a estas propiedades como *propiedades de nivel*, las cuales se manifiestan solo en un determinado intervalo sin acumularse. Así, si bien podría considerarse similar a la idea de emergencia de Mario Bunge quien afirma que una propiedad emerge cuando ninguno de sus componentes la posee (Bunge, 2004, p. 32) se diferencia de esta postura en tanto en cuanto el filósofo argentino aboga por “*la imposibilidad de comprender una totalidad a través del análisis de sus componentes y sus interacciones*” (2004, p. 19).

### 5.3 Restricción o realizabilidad múltiple.

Al explicar este pilar de la emergencia, Klee (1984, p. 54) apuntaba el enfoque de Paul Weis (1969), para quien en un sistema  $S$  formado por  $N$  partes la variación-fluctuación de cada una de estas partes es mucho menor de lo que se esperaría en función de las variaciones parciales. Esta idea es similar a la de las condiciones de contorno de (Polanyi, 1968) y las variantes de (Pattee, 1982) y (Rosen, 1985). Sin embargo, considerando el enfoque aquí planteado, esta restricción del nivel superior que se manifiesta en una aparente realizabilidad múltiple, resulta un mero artefacto de la simplificación hecha al considerar un intervalo de cuasi-descomponibilidad superior eliminando la distinción de los intervalos inferiores. Al observar solo ciertas características y de forma promediada, resulta evidente habrá menos descripciones macro que micro.

Si volvemos a fijarnos en el caso del agua líquida vemos que denominamos igual a muchos estados de ese conjunto de moléculas que, sin ser exactamente los mismos, a nivel del observador se comportan como si lo fueran. Además, en función de la elección del  $\epsilon_i$ , no se hace distinción ni siquiera de su composición. Si se describe el movimiento superficial de una masa de agua, dará igual de qué tipo de agua se trate, pero si lo que se considera es su cualidad de calmar la sed, sí se hace esta diferencia distinguiendo entre dulce y salada. En el caso más complejo de una molécula de hemoglobina, denominamos por igual a un amplio conjunto de moléculas composicional y estructuralmente diferentes que sin embargo cumplen *solo* cualitativamente la función de transportar oxígeno. La hemoglobina humana, solo en su cadena  $\beta$  tiene 261 variedades, y, si bien todas ellas cualitativamente intervienen en la captación y transporte del oxígeno, lo hacen de forma cuantitativamente diferente, bien aumentando, bien disminuyendo la afinidad por éste. A esto hay que añadir que muchas de ellas difieren en propiedades cualitativas. Por ejemplo, en la variedad Rothschild, el pequeño cambio del triptófano de la posición 38 de la cadena  $\beta$  conlleva una rotación del tetrámero, ajuste que afecta a la cooperatividad, disminuyendo drásticamente su afinidad por el oxígeno y, como añadido, determinando un sitio de unión para el anión cloruro en la zona de contacto entre las cadenas  $\alpha_1$  y  $\beta_2$  que implica una sensibilidad a la concentración de dicho anión que interfiere en la estabilidad de la molécula (Kavanaugh et al., 1992, p. 11).

(Klee, 1984, p. 56) recurre a la noción de superveniencia de Jaegon (Kim, 1978) para rebatir la idea de la realizabilidad múltiple, sin embargo no cree que aquellos que defiende que restricción de las propiedades emergentes se vean amenazados por la superveniencia, pues tras esta subyace la idea de retro-control propio de la causación descendente (pilar del emergentismo que veremos en la sección siguiente). Tampoco Kim cree que la idea de superveniencia elimine la emergencia de forma suficiente, pues la propia superveniencia es en si misma inexplicable. *“La conclusión es que la condición superveniencia en la emergencia simplemente equivale a la afirmación de que existe una covariación en principio inexplicable entre las propiedades supuestamente emergentes y sus propiedades de base”* (Kim, 2006, pp. 555-556)

#### **5.4 Causación descendente.**

Por último, e íntimamente ligado con el “pilar” anterior, encontramos la causalidad descendente y, más generalmente la causalidad intranivel, considerada por Kim como una problemática aliada del emergentismo, ya que este *“no puede vivir sin la causación descendente, pero tampoco con ella. La causación descendente es la 'raison d'être' de la emergencia, pero bien puede llegar a ser lo que al final lo socave”* (Kim, 2006, p. 548). Como se ha señalado, tras la causalidad descendente se encuentra la idea de retrocontrol de los niveles superiores ya citada de Polanyi y su importante derivación de la autopoiesis (Maturana & Varela, 2004) y otros tipos de cierre que veremos más adelante, así como, al menos parcialmente, la explicación por mecanismos y la intuitiva idea científica de la búsqueda de la causación en los niveles inferiores, tanto en sus formas reflexivas como no reflexivas.

Un aspecto evidente de la causalidad es que las causas anteceden a sus consecuencias, por lo que las primeras deben encontrarse en un punto anterior a las segundas en la línea del tiempo. Así, una situación temporalmente determinada de un nivel fundamental  $F_0$  estará causada por otra previa  $F_{-1}$ . Si nuestra elección del criterio de cuasi-descomponibilidad nos hace estar analizando el fenómeno desde el nivel macroscópico, veremos que la situación  $M_0$  está causada por una previa  $M_{-1}$ . Lo mismo nos valdría para cualquier nivel mesoscópico  $m_n$ . Como quiera que la situación  $F_0$  y  $M_0$  mantienen entre sí una relación de identidad, sus causas

$F_{-1}$  y  $M_{-1}$  también serán idénticas y por lo tanto no se puede hablar de causación internivel, ni ascendente ni descendente al no poder ser algo causa de sí mismo. Sin embargo, la idea de causalidad intranivel es muy intuitiva (Craver & Bechtel, 2007, p. 547). Las razones para esta intuición deben poder explicarse a fin de ofrecer una explicación reduccionista satisfactoria acerca de la aparente circularidad de las causas.

Si observamos la causalidad de un acontecimiento  $A$  desde dos niveles distintos, y estamos interesados en la relación intranivel, es comprensible que analicemos aspectos diacrónicos como si fueran sincrónicos. Supongamos que queremos analizar la causa de  $M_0$  en un nivel inferior, como quiera que esta situación es idéntica a  $F_0$ , su verdadera causa es la situación  $F_{-1}$  que se corresponde con  $M_{-1}$ . Pero, al no considerar el  $dt$  transcurrido, es fácil *confundir* la explicación causal con la relación de identidad internivel y observar que, al menos aparentemente,  $F_{-1}$  causa  $M_0$ . Igualmente, se puede tener la sensación de que  $M_0$  mantiene una relación de condicionante sobre sí misma visualizada como nivel microscópico. Sin embargo, y por la misma razón anterior, esto solo podría entenderse sobre una situación micro posterior y, por lo tanto, solo de forma aparente se da una causación descendente entre  $M_0$  y  $F_{+1}$ .

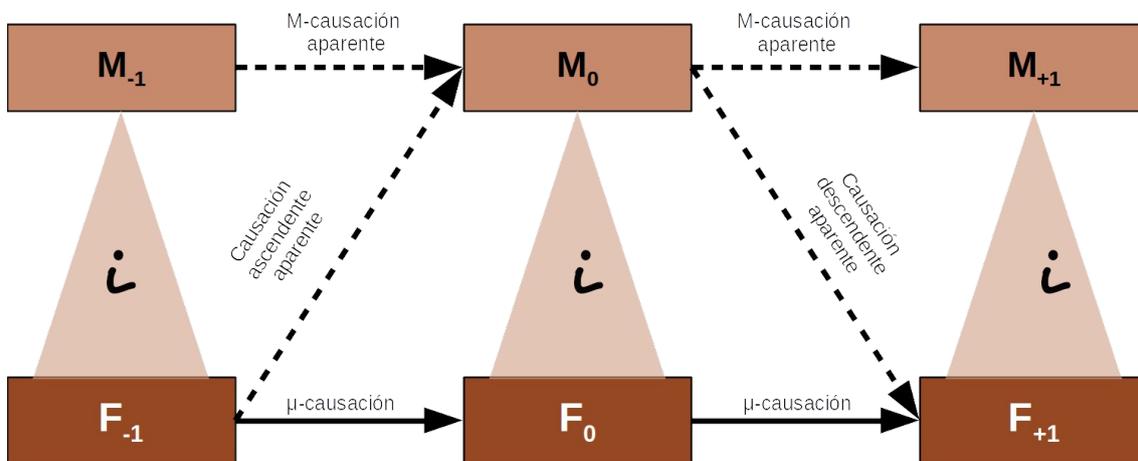


Figura 8: Macro-causalidad, micro-causalidad y causación internivel aparente. El cono representa la restricción y la letra  $i$  es la relación de identidad entre niveles.

En la figura 8 las flechas continuas simbolizan la causalidad intranivel, micro o macro, mientras que las flechas discontinuas hacen referencia a la apariencia de causalidad internivel, bien ascendente, bien descendente.

Así, podemos explicar sencillamente la sensación de las causas subyacentes. Pensemos en los componentes eléctricos de un coche híbrido. La intuición nos dice que este vehículo se mueve por la acción del motor eléctrico, lo que entendemos claramente como una causación ascendente. Según dónde situemos nuestro  $\epsilon_i$ , podemos estar observando este coche desde un nivel en el que lo apreciamos completamente o desde otro en el que observamos sus componentes, como la batería o el alternador, sin visualizarlo por completo. En un momento inicial, tendremos un estado macro con su correspondiente estado micro. Si en un momento  $t_1$ , se produce un cambio en la batería, esto producirá una modificación en los demás componentes que observada desde el nivel macro consiste en el desplazamiento del coche. Si hacemos un análisis internivel, dará la sensación de que este cambio ha producido el movimiento del coche, pero si no cambiamos el nivel de observación, veremos o bien a) que la disposición de las piezas en  $t_0$  da lugar a la disposición de las piezas en  $t_1$ , o bien b) que el coche en  $t_0$  da lugar al coche desplazado en  $t_1$ .

De igual manera, intuimos que es el movimiento del coche lo que genera la electricidad que hace que el motor funcione. Aparentemente, es una causación descendente, pero podemos explicarla de idéntica manera. Ahora nos fijamos en cómo cambia el alternador entre  $t_1$  y  $t_2$ , algo que observado desde el nivel del coche nos dará los estados 1 y 2. Si hacemos la misma observación cruzada, parecerá que el movimiento del coche (cambio  $1 \rightarrow 2$ ) es el que modifica el alternador.

Cuando combinamos ambas observaciones, vemos que la batería inicia el movimiento, el movimiento carga el alternador y el alternador carga la batería, da la sensación de ser un mecanismo cíclico pero en realidad es una espiral diacrónica a modo de volutas de avance temporal. Al no percibir claramente los diferenciales de tiempo queda la sensación de circularidad propia la idea de cierre causal.

El ejemplo anterior es muy sencillo, pero susceptible de complicarse. De igual manera que hemos descompuesto el coche en alternador y batería, podríamos descomponer cada uno de ellos en sus sub-componentes. La elección del criterio de quasi-descomponibilidad podría ser, por ejemplo,  $\epsilon = \{\text{componentes de una pieza}\}$ , que podríamos asimismo agrupar modularmente (Simon, 1962, p. 470). Más complicado, pero posible, es relacionar el

comportamiento monógamo del ratón de campo con la densidad de receptores de vasopresina y oxitocina en las regiones subcorticales pálido ventral y núcleo accumbens (P. S. Churchland, 2012, p. 62). En el caso citado anteriormente, los científicos entienden habitualmente en términos de causalidad. Si una persona muere por un problema cardíaco relacionado con la relajación del miocardio, diremos que la causa de la muerte ha sido una malfunción de la titina, aunque se trata de una relación de causalidad ascendente meramente aparente. El cambio de la titina entre  $t_0$  y  $t_1$  se observa como un cambio en el estado del sarcómero de  $t_0$  a  $t_1$  que, escalando niveles, veríamos como un cambio entre el individuo en  $t_0$  a  $t_1$  estando primero vivo y después muerto.

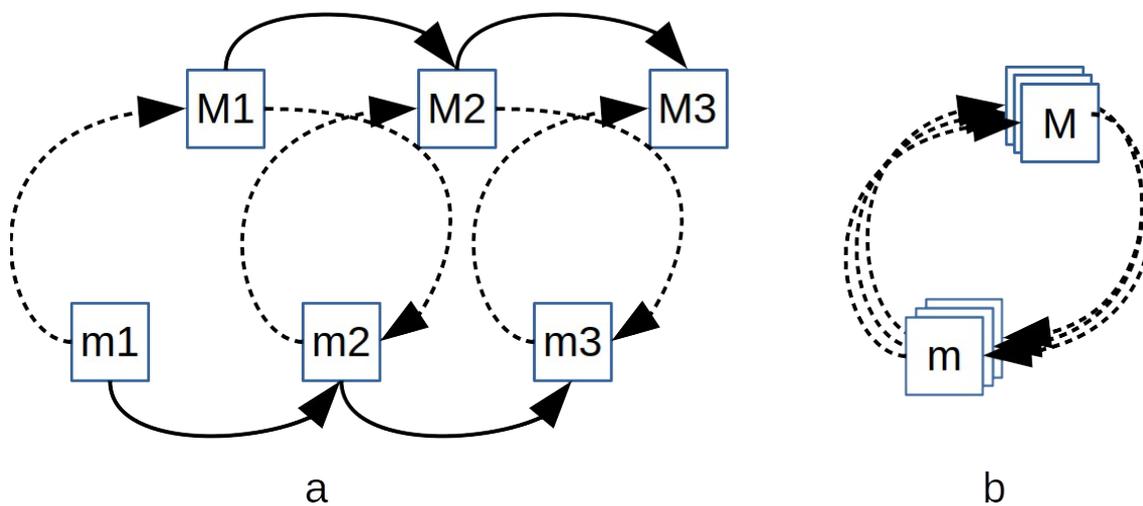


Figura 9: En a) se representa la causalidad cruzada entre niveles considerando el avance temporal tomando esta relación forma de voluta, mientras que en b) se elimina la referencia temporal tomando forma de ciclo con apariencia de causalidad descendente.

Este ejemplo sería similar al propuesto por Craver y Bechtel para dar una explicación mecánica de la causación internivel pero sin causa internivel (Craver & Bechtel, 2007). Sin embargo, ellos distinguen entre un ataque al corazón y una infección provocada por un virus, (2007, pp. 456-457) al determinar que tanto el hospedador como huésped son individuos del mismo nivel aunque de diferente tamaño. Desde el punto de vista aquí desarrollado, no hay diferencia entre el virus, el sarcómero y demás componentes moleculares. El virus no interacciona con el organismo sino con ciertas moléculas, y una vez que lo hace, forma parte del mismo sistema y se debe considerar como un componente más. El enfoque de Craver y Bechtel no explica la integración del ADN vírico en los genomas de las células parasitadas

EMILIO CÁCERES VÁZQUEZ

cuando estos llevan a cabo un ciclo lisogénico que no se reactiva. También se podría considerar un medicamento como un individuo en el sentido que interacciona con la persona de la misma forma que el virus. Un león que caza una cebra no interacciona con una abstracta población de cebras, sino con una desafortunada cebra individual.

## 6 El mecanosistema como alternativa explicativa basada en ICD

En este capítulo se va a introducir el concepto de *mecanosistema*<sup>40</sup>. Este concepto es clave para proponer una forma explicativa que no asume las propiedades emergentes ni ninguna de sus características, como si hace el mecanicismo de Machamer, Darden, Craver, Bechtel o Glennan, pero que tampoco cae en los excesos de la reducción teórica de (Nagel, 1949) o las formas eliminativistas de los Churchland (véase por ejemplo (P. S. Churchland, 2012)).

Como ya se ha señalado, el problema del ejemplo de las casas de Simon radica en que es imposible extrapolarlo al mundo natural, pues en él nos hemos de enfrentar con la inexistencia de sistemas aislados. De hecho, ni siquiera el planeta Tierra es un sistema aislado que pueda considerarse como totalmente descomponible<sup>41</sup>. Parece más bien que el mundo natural debe entenderse como un continuo material que podemos cuasi-dividir en componentes anidados en base a ciertos criterios de cuasi-descomponibilidad. Paul Weiss lo expresaba así:

*Para mí, como observador de la naturaleza, el universo se presenta a modo de un inmenso continuo cohesivo. Sin embargo, por lo común no lo vemos así. Estamos*

---

40 Este concepto fue presentado en (Cáceres & Saborido, 2017), y posteriormente fue desarrollado en detalle en (Cáceres & Saborido, 2018).

41 Esto también afecta al criterio de descomponibilidad que proponen Bechtel y Richardson y en el que basan su propuesta mecanicista: “si el grado de integración entre los componentes de un todo no anula a los componentes como entidades autónomas, el resultado es una jerarquía parte-todo descomponible” (Bechtel & Richardson, 1993, p. 28). Quizá sería una propuesta teóricamente válida para un criterio de cuasi-descomponibilidad, pero no de descomponibilidad.

*acostumbrados a mirarlo como un conglomerado de fragmentos regulares. Este hábito deriva en parte de la herencia biológica, que lleva a enfocar las cosas, tales como presas, enemigos u obstáculos, como necesidad vital; en parte procede de la tradición cultural, y también de la curiosidad, que dirige nuestra atención e interés hacia “objetos” limitados. Éstos pueden consistir en conjuntos bien delimitados en nuestro campo visual, en series repetidas de sonidos en el canto de los pájaros, la música o la voz humana, o en procesos de modelo regular, como las ondas. Lo que atrae nuestra atención es su aparición reiterada en forma constante y duradera: al menos se mantiene lo suficiente o se repiten en nuestra experiencia lo bastante a menudo para merecer un nombre, en contraposición a las constelaciones que les rodean. mucho menos regulares y más fugaces, a las cuales, en contraste, llamamos “fondo”. (Weiss 1970, 7).*

A fin de poder acotar el ámbito de la realidad que se pretende abordar en cada caso concreto, Simon introdujo en su propuesta la consideración de un valor  $\epsilon$  que decidimos de forma convencional y que nos sirve como delimitador<sup>42</sup>. Es evidente que si cambiamos el valor de  $\epsilon$  o *criterio de cuasi-descomponibilidad* podríamos afirmar que uno u otro subsistema es cuasi-descomponible. De igual manera, si en vez de utilizar un solo criterio, usamos dos,  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$ , tendremos la distinción entre dos subsistemas cuasi-descomponibles anidados, lo que determina lo que he definido más atrás un *intervalo de cuasi-descomponibilidad*  $I_{(i, j)} = [\epsilon_i, \epsilon_j]$ .

Otra característica notable del sistema de Simon es que evoluciona hacia un equilibrio, algo que difícilmente ocurrirá mientras existan generadores de desigualdad. En el ejemplo de la casa, este equilibrio ocurrirá si introducimos radiadores en los cubículos. En este caso se establecería un equilibrio dinámico de manera que habrá un gradiente térmico centrado en los radiadores<sup>43</sup>. No obstante, la decisión de instalar un solo termómetro, bien en una habitación,

---

42 Es interesante señalar que este valor podría coincidir con la autonomía de Bechtel y Richardson (1993, p. nota 8).

43 En un sistema aislado, cuando existe un generador de desigualdad se simplificaría e llegaría a una situación de equilibrio térmico al alcanzar la casa la temperatura de los radiadores. Si el sistema fuera cuasi-

bien en una vivienda, etc, es una decisión dependiente del interés del observador. Resulta evidente que esta decisión tendrá como consecuencia la *pixelación* de la temperatura, con la pérdida de información que esto supone. Dependiendo del foco del análisis, el píxel será más o menos grande y provocando una uniformización de la temperatura y un efecto de parcelización del continuo material. La decisión puede ser útil, pero no inocua, y las consecuencias pueden ser más o menos importantes, pero no nulas. En el caso real del control térmico de una casa, la práctica de situar un solo termostato tiene la consecuencia de crear un gradiente térmico en el interior de la casa. El único lugar en el que podemos asegurar la temperatura programada es justo donde esté situado el termostato.

Como ya se ha señalado, si esto se ajustase a nuestros intereses, podríamos empezar por los átomos<sup>44</sup>, cuyas propiedades debidas a su composición cuantitativa determinan la forma en la que combinan entre si. Una de ellas, predominante en la materia viva, es la unión covalente<sup>45</sup> que forma las moléculas. A esta escala, esta unión es lo suficientemente estable como para considerar que la energía necesaria para romperlos puede funcionar como un nuevo criterio de cuasi-descomponibilidad y, a fin de cuentas, el criterio determinante para identificar un nuevo nivel, el molecular. A partir de aquí, las relaciones entre moléculas, fuerzas intermoleculares, ión-ión, ión-dipolo, ión-dipolo inducido, hidrofóbicas y de van der Waals, conforman un nuevo plano. La interacción hidrofóbica entre ciertos lípidos da lugar a la membrana plasmática, “frontera” que marca los límites de las células presentes en todos los sistemas vivos. Consecuentemente, la fuerza de las interacciones hidrofóbicas pueden resultar un buen criterio de cuasi-descomponibilidad que delimite un nuevo nivel. Pero ahora el límite del ICD determina un borde que contiene en su interior una gran cantidad de moléculas de diferente naturaleza que interaccionan gracias a las fuerzas anteriormente citadas. Dentro de las células existen compartimentaciones basadas en membranas, los orgánulos, pero debido

---

descomponible, la vivienda tendría pérdidas y no *moriría* por calor, formando un sistema alejado del equilibrio. Gracias a Daniel Ruiz-Castillo por esta observación.

44 Por economía de espacio, comenzamos la exposición en el nivel atómico, pero igualmente podríamos partir de leptones y quarks y, pasando por hadrones, llegar a los átomos. Las fuerzas nuclear fuerte, residual y débil serían nuestros  $\epsilon_n$

45 Las uniones iónicas y metálicas son igualmente explicables en función de sus propiedades.

a que no existen en todos los tipos de células interpretar el ámbito en el que estos se localizan como un subnivel.

Escalando niveles, las células se unen (uniones estrechas, de adherencia, desmosomas, hemidesmosomas o uniones gap) dando lugar a diferentes estructuras, bien de células similares, bien diferentes, que forman agrupaciones que cuentan con una barrera delimitadora. Esta barrera podría ser un nuevo criterio de cuasi-descomponibilidad y determinar el nivel de organismo. Un nivel formado por individuos del mismo tipo simplificación sería el nivel de la población, y uno superior formado por individuos de diferente tipo, incluyendo materia inerte, podría definirse como el nivel del ecosistema, del bioma o de la de biosfera. Entre niveles se podrían establecer las divisiones clásicas en función de los componentes que se pueden identificar en ellos: tejidos, órganos, aparatos, etc. Así, esto permite hacer distinciones entre niveles, como las distinciones entre el nivel del organismo y el celular, entre el nivel de los orgánulos y el de las macromoléculas, o entre el nivel celular y el molecular. De esta partición longitudinal de la materia se sigue que la relación entre los subsistemas superiores y los inferiores es simplemente composicional y, por lo tanto, la relación entre dos niveles diferentes es de identidad. Por tanto, un bioma es un conjunto de ecosistemas, un ecosistema un conjunto de poblaciones, una población un conjunto de individuos, un individuo un conjunto de células, una célula un conjunto de moléculas, una molécula un conjunto de átomos y un átomo un conjunto de partículas elementales. El individuo es un punto intermedio de un conjunto de sistemas cuasi-descomponibles anidados.

Ahora bien, ¿cómo decidimos cuál es el subsistema relevante para la investigación? Resulta evidente que la elección de estos  $\epsilon_i$  implica un sesgo observacional basado en un análisis top-down previo. Podríamos eliminar, o cuando menos minimizar, este sesgo estableciendo un nivel arbitrario pero sin observación previa proponiendo, por ejemplo, un nivel cada ciertas unidades de intensidad de interacción, pero esto conduciría a una división probablemente muy poco útil, equiparable al puzzle que suponen los niveles de mera contención material/espacial de (Craver, 2007, pp. 187-188).

Una vez definidos los ICD, la disciplina encargada de su estudio debe realizar una descripción del objeto que pretende explicar acorde a lo observable desde ese nivel,

demarcando así los límites del *sistema* que va a considerar (cfr. (Cáceres y Saborido 2017, 97). Cada ciencia estudiará su propio intervalo y se encargará de describirlo estructural y funcionalmente<sup>46</sup>, distinguiéndolo así de su entorno y del resto de intervalos. Esta descripción debe hacerse en función de la metodología de la ciencia en cuestión e implica normalmente una terminología propia. Es decir, cada ciencia se centra en las propiedades detectables desde su nivel mediante sus métodos de investigación<sup>47</sup>. Por lo tanto, tratará su intervalo tomando solo aquellos *inputs* y *outputs* que considere necesarios para la finalidad del estudio, estableciendo un sistema modelo y haciendo una simplificación heurística de la realidad por razones pragmáticas. Las leyes científicas que actúan a cada nivel serían regularidades detectadas durante la descripción de los sistemas.

Esta modelización implica una simplificación que se amplifica conforme ascendemos de nivel. Los píxeles determinados al elegir un nivel de observación pueden resultar suficientemente útiles desde cierta distancia, pero no es cuestionable el hecho de que restan resolución. Así, en el estudio que hace Craver de la liberación de neurotransmisores mediada por calcio (Craver, 2007, p. 22), se toma en consideración la concentración de cationes calcio, pero no la de sodio y potasio, responsables de la despolarización-repolarización de membrana que producen la liberación de calcio. Esta selección de los elementos que forman el sistema introduce sesgos que alteran los resultados, lo que conlleva asumir que, a la hora de introducir generalizaciones, éstas serán igualmente inexactas<sup>48</sup>, aunque lo suficientemente aproximadas

---

46 Esta distinción entre los aspectos estructurales y los funcionales merece un tratamiento teórico independiente. Efectivamente, ciertos sistemas, tales como los biológicos, muestran características diferenciadoras que van más allá de las meramente estructurales. Aunque esto supera los objetivos de este trabajo, podemos adelantar que nuestra propuesta sería que las actividades biológicas, las funciones, emanan de la estructura y, por lo tanto, dependen en último término de esta. Cómo la noción de función biológica puede ser abordada desde la perspectiva de los ICD es el objeto de una ulterior investigación.

47 Esta división en niveles estaría catalogado en la taxonomía de Craver (2007, p. 171) como un nivel de ciencia, pues los niveles así descritos son evidentemente un constructo epistémico, de la misma forma que lo son el de Oppenheim y Putnam o el de Wimsatt. Sin embargo, los propios niveles de mecanismos propuestos por Craver son también del mismo tipo, pues las entidades y las actividades que constituyen sus mecanismos, especialmente estas últimas, son también construcciones teóricas.

48 Debido a esto se dan excepciones, fenómeno que Glennan achaca al entorno (Glennan, 2008, p. 378).

para ser prácticas y permitir la explicación y la predicción.

### 6.1 Entidades-sistema con propiedades

Ya hemos señalado que la definición dual de mecanismo, que considera la existencia tanto de entidades como de actividades, es clave para el posterior desarrollo del modelo de MDC, y probablemente uno de sus puntos más susceptibles a la crítica. La idea de nivel como ICD implica que solo las entidades tienen adecuación óptica, además de la innecesidad explicativa de considerar ópticamente a las actividades. Solo las entidades del nivel F tienen propiedades no descomponibles, mientras que las entidades resultantes de la elección de un criterio de cuasi-descomponibilidad tendrán un conjunto de *propiedades de nivel*<sup>49</sup> resultantes de la simplificación realizada. Una propiedad de nivel  $P$  de una entidad-sistema de un mesonivel  $m$  determinado quedará definida por las  $n$  propiedades heurísticamente seleccionadas de las entidades-sistema del nivel subyacente a ella.

$$P^{ES_m} \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{i=1}^n P_n^{ES_{m-1}}$$

Así, tendremos entidades-sistema con propiedades de nivel. De esta manera, se engloba el enfoque de *entidad* que Kuhlmann y Glennan consideran común al Nuevo Mecanicismo. Para ellos, las entidades son partes reales y se posicionan en un punto de vista perspectivista, en el que destaca el *para qué* del mecanismo (Kuhlmann & Glennan, 2014, p. 339).

Si una entidad de un mecanismo es una parte *real* y *relativamente estable* (Glennan, 2008, p. 378), no es sencillo justificar su descomposición en otras partes igualmente reales y relativamente estables. ¿Qué criterio seguimos para descomponer un sistema? Como veremos en este apartado, el enfoque basado en la cuasi-descomponibilidad, entender las partes de un sistema solo como *arbitrariamente estables* lo que facilita resolver el problema de la descomposición mecanística.

De esta forma, tendremos por tanto que los átomos son sistemas del nivel atómico con propiedades de nivel derivables de las de sus elementos constituyentes. Dentro de estas

---

49 Estas propiedades son consideradas tradicionalmente como propiedades emergentes, cfr. (Cáceres y Saborido 2017, 101)

propiedades podemos observar, por ejemplo, la electronegatividad (tendencia a ganar o perder electrones que proporciona una mayor estabilidad) o el radio iónico (radio del átomo tras ganar o perder electrones). Así, el neón tendrá propiedades cuantitativamente diferentes de las del flúor y de las del sodio. De estas propiedades dependerá el comportamiento de un elemento. Como consecuencia, en función de su electronegatividad un átomo ganará electrones, y por tanto se reducirá, o los perderá, oxidándose. Así, el flúor tenderá a captarlos, el sodio a cederlos y el neón a quedarse como está. En una situación sin injerencias, el flúor no se oxidará ni el sodio se reducirá, por lo que no se puede desvincular la acción de la propiedad y por lo tanto de la entidad. Si siguiéramos el modelo teórico propuesto por MCD, parecería que no hay conexión entre actividades y entidades y tanto el flúor como el sodio podrían oxidarse o reducirse. A esta independencia implausible se refieren Kuhlmann y Glennan cuando tildan de *escalofriante* este dualismo (Kuhlmann & Glennan, 2014, p. 340).

Relacionado con esto, otro problema del enfoque mecanicista es el la subdivisión de las actividades. Los niveles de mecanismos parecen afectar solo a las entidades, de forma que las actividades, a pesar de tener para los autores adecuación óptica, parecen flotar entre niveles sin ser descomponibles en ninguno de ellos.

Asimismo, la asunción de adecuación óptica de las entidades también puede cuestionarse, pues solo el nivel las entidades más fundamental parece independiente de los intereses investigadores del observador. Por esta razón consideramos más adecuado hablar de entidades-sistema. Cada una de estas entidades-sistema interacciona con otras del mismo nivel en base a sus propiedades de nivel configurando un mecanosistema que visto desde la perspectiva superior supone una entidad-sistema del siguiente nivel.

Una posible crítica a este enfoque es la que presupone la necesidad de un análisis *top-down* previo para identificar las funciones. (Machamer et al., 2000, p. 4) lo hacen de forma similar a como hicieron los emergentistas británicos Samuel Alexander (Alexander, 1920, p. 328) o C. Lloyd Morgan (Morgan, 1923, p. 5). Todos ellos suponen que es necesario conocer mediante la experiencia previa qué acciones llevan a cabo unas entidades concretas, en lugar de deducir las actividades a partir de las propiedades. Sin embargo, esta es una cuestión derivada principalmente del foco de interés del investigador. Al estudiar un aspecto fisiológico

determinado, lo primero que hacemos es definir el objeto de estudio para posteriormente investigar hacia abajo, pero no por la imposibilidad de llegar a una conclusión escalando niveles, sino porque buscamos explicar algo relevante para nuestro interés. Esta relevancia determinada *a priori* es también clave al considerar principal o secundarias las funciones de un mismo órgano. Pensemos, por ejemplo, en un músculo. A nivel molecular, por no profundizar más, la interacción entre actina, miosina, titina y demás, como proteínas estructurales del sarcómero, y de las enzimas involucradas, como las ATPasas, dan lugar, desde una perspectiva superior, a un acortamiento del sarcómero, pero también hay una producción de calor. Es más, ni siquiera la generación de calor del músculo es una actividad única, sino la suma de los calores de reposo, de activación, de acortamiento, de recuperación y de relajación, producidos en diferentes reacciones, como la actividad de la bomba Na-K, la liberación de calcio, etc (Michael & Sircar, 2012, p. 84). La misma actividad molecular que produce la contracción conlleva el calor muscular. Solo el enfoque *a priori* determina la relevancia, y es la razón de la necesidad del análisis top-down previo.

## **6.2 Interacción entre elementos de diferente tamaño**

Un aspecto interesante derivado de la división de la materia mediante ICDs es la imposibilidad de interacción entre entidades de diferente nivel. Desde esta perspectiva, la interacción entre entidades-sistema se hace exclusivamente en el nivel fundamental. Aunque resulte muy intuitivo decir que, en la sinapsis neuronal, el  $\text{Ca}^{2+}$  interacciona con la calmodulina, podemos observar que lo hace solo con ciertos componentes de ésta, pasando a formar parte de una nueva entidad-sistema, el complejo calcio-calmodulina, composicionalmente novedoso y estructuralmente diferente.

En uno de sus ejemplos más llamativos, Craver explicaba el proceso según el cual un virus entra en contacto con nada menos que un general del ejército (Craver & Bechtel, 2007, p. 556). Es cierto que el ejemplo de Craver sigue una forma de hablar común y entendible. Parece evidente que cuando alguien dice algo como “*Obama está manteniendo conversaciones con Cuba*” puede entenderse que en realidad quiere decir “*Obama ha conversado con Raúl Castro*”. Sin embargo, esta forma de hablar puede encubrir los procesos causales que ocurren realmente. El virus no interactúa con el general, del mismo modo que

Obama no interactúa con Cuba. En realidad, son los átomos de las proteínas superficiales del virus los que entran en contacto con los átomos del glucocalix de las membranas de las células superficiales de la persona. La descripción de los casos biológicos que se suele hacer desde el mecanicismo deja ver un problema respecto a los criterios para decidir qué elementos forman un sistema y cuáles están fuera de él formando un entorno.

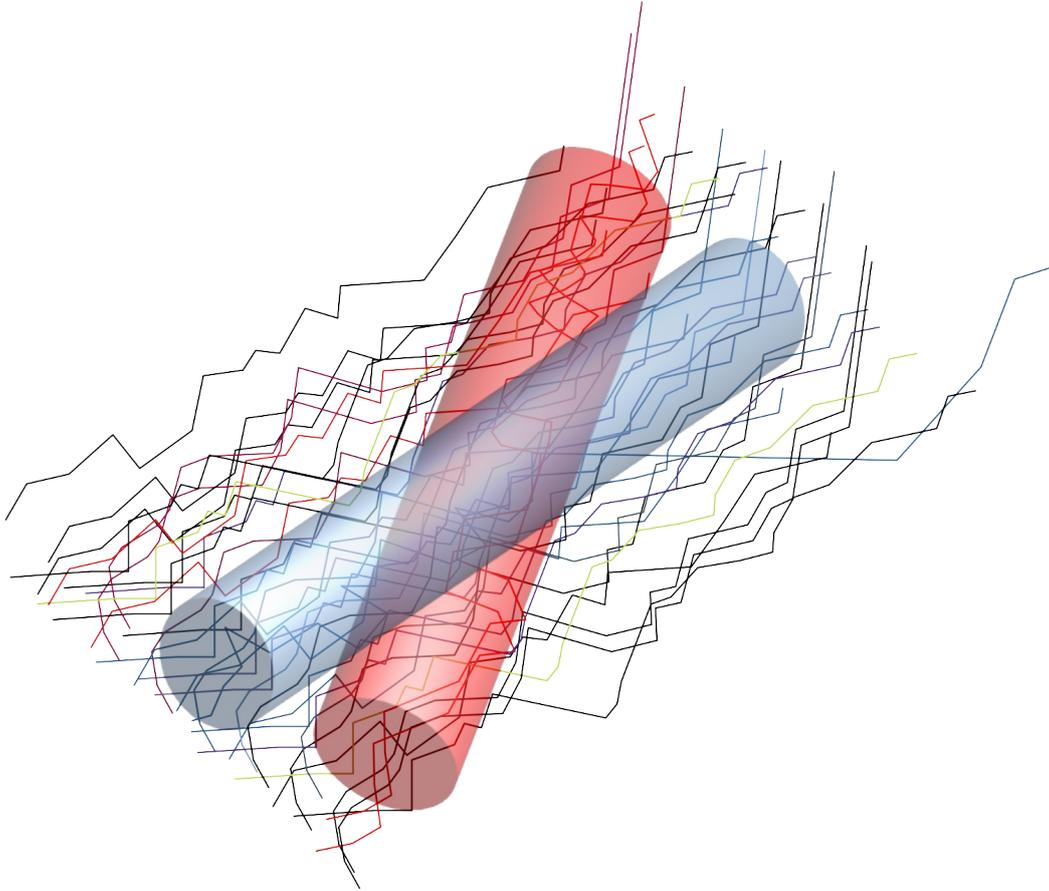
Por ejemplo, cuando el calcio está separado de la calmodulina resulta evidente que desde la perspectiva molecular no forman parte del mismo sistema. Pero, una vez unidos, y a pesar de no ser una unión covalente, la formación de un complejo de coordinación es claramente más fuerte que los enlaces débiles habituales, por lo que se podría considerar un nivel intermedio. Además, en estado de reposo, existe una alta concentración de complejo calcio-calmodulina (Latorre, 1996, p. 156) por lo que no está nada claro que se pueda hablar del calcio como extrasistémico. Del mismo modo, la distinción que hace Craver entre el corazón y un virus como intrasistémico y extrasistémico, respectivamente, a la hora de hablar de la causa de la muerte de una persona se difumina cuando consideramos la forma de actuar de algunos virus. El caso del virus del herpes simple es aclarador. Tras una primera infección, el ADN viral permanece en el núcleo de las neuronas afectadas reactivándose a lo largo de los años. Otros virus se integran en el ADN del hospedador dividiéndose con él y, en el caso de darse en células de la línea germinal, pudiéndose transmitir a la descendencia en forma de elemento viral endógeno para reactivarse después. En ambos casos, hablar de intra y extrasistémico es claramente arbitrario.

### 6.3 Causación internivel

El enfoque manipulacionista de Craver es perfectamente entendible desde su perspectiva explicativa, no obstante, desde el enfoque aquí presentado, necesita algún comentario.

La visión *salmoniana* de líneas de mundo (Salmon, 1994) con un valor no nulo de una cantidad conservada y de la intersección de éstas formando *redes de mundo* es perfectamente válida siempre y cuando nos movamos en el nivel fundamental. Pero las simplificaciones hechas al determinar sistemas en los diferentes niveles introducen errores acumulados que dificultan la detección de los nodos. Estos cruces dejan de ser un punto para ser un conjunto de ellos tratado como si lo fueran. Cuanto más nos alejemos, más difusas serán las líneas y los

nodos.



*Figura 10: Líneas de mundo agrupadas en trazos de mundo al observarse desde un nivel superior*

Resulta evidente que la idea de interacción etiológica ideal y de manipulacionismo son tremendamente prácticas cuando se trata de establecer la causalidad de un fenómeno concreto, generalmente una función. El problema es que puede limitar la investigación al basarse en una decisión a priori. Sin este aspecto teleológico, la red de líneas de mundo previa a un momento no tiene nexos más relevantes que otros. Esta visión de la red causal sin finalidad explicativa concreta, puede ayudar a descubrir relaciones de causalidad que pasarían desapercibidas en el caso de estar previamente dirigidas.

Según el foco de la observación tenderemos una diferente visión de la red de mundo. Si no fijamos ningún evento solamente veremos esa red de mundo (red de fondo de la figura 11), pero si nos fijamos en un evento  $E_0$  ocurrido en el tiempo  $t_0$ , veremos que la red de mundo se

divide en dos grupos de líneas, las que van a afectar al evento analizado y las que no. Así, proyectando esto hacia el pasado  $t_{-i}$  se formará un cono de sucesos causales  $E^C_i(t_{-i})$  del evento  $E_0(t_0)$  en una matriz de sucesos no causales  $E^{NC}_i(t_{-i})$  del evento  $E_0(t_0)$ . De igual manera, hacia el futuro  $t_{+i}$  se forma un cono de sucesos efecto  $E^E_i(t_{+i})$  del evento  $E_0(t_0)$  en una matriz de sucesos no causales  $E^{NE}_i(t_{+i})$  del evento  $E_0(t_0)$ . Entre ambos casos se formará un horizonte causal. De esta forma conforme nos movamos hacia el pasado, los nodos causales influyentes serán cada vez más numerosos. Esto determinaría un cono de nexos causales previos al evento, cada uno de los cuales está a su vez influido por los nodos anteriores, por lo que tendrían su propio cono previo. Este cono causal estaría delimitado una línea de horizonte entre causas influyentes y no influyentes en un evento concreto. De igual forma, los eventos futuros en los que influirá causalmente  $E$  formarán un cono causal futuro (líneas azules de la figura 11).

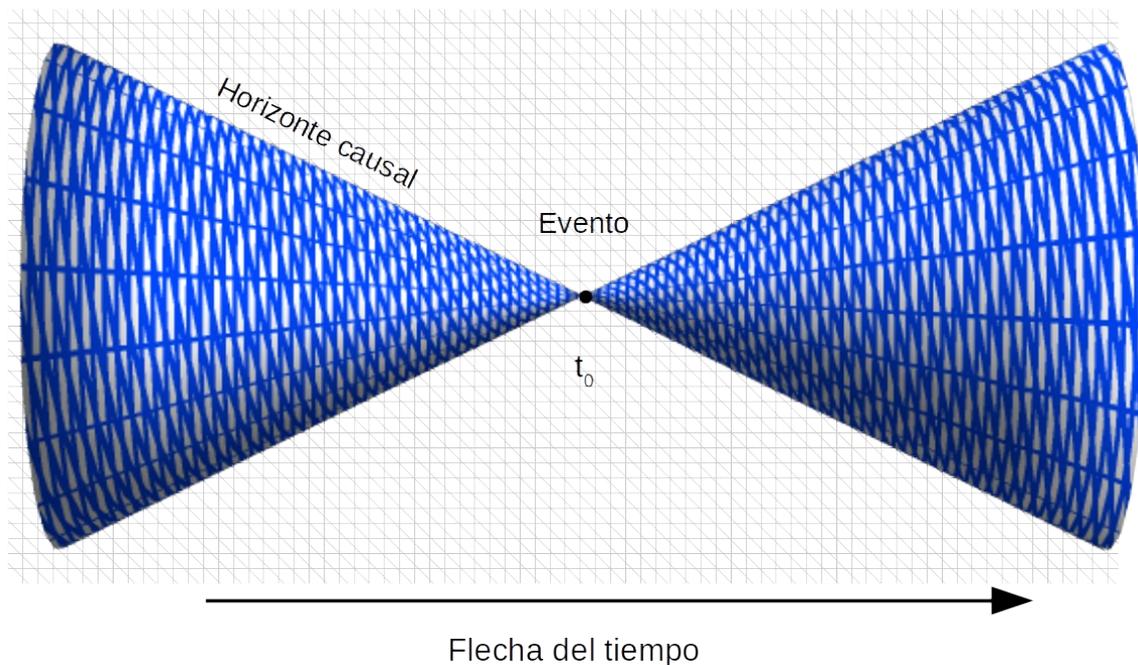


Figura 11: Cono causal

Por otro lado, el tratamiento dado a la causación internivel sin causas internivélicas es un intento de explicar la intuición de la investigación científica con un éxito cuestionable. Al investigar un fenómeno concreto, cierto número de nodos anteriores a su realización son lo que denominamos causas. Observando el nivel fundamental, la situación  $F_0$  estará causada por otra previa  $F_{-1}$ , pero al ascender el nivel de foco, agruparemos cierta cantidad de elementos

del nivel  $F$ , por lo que a nivel macroscópico veremos que la situación  $M_0$  está causada por una previa  $M_1$ . Esta idea vale para cualquier nivel de observación, como ya se ha explicado más atrás.

#### 6.4 El mecanosistema

En función de todo lo expuesto hasta ahora faltaría definir con la mayor claridad posible qué es lo que entendemos por mecanosistema. Una primera aproximación podría ser la siguiente:

*Un mecanosistema (MS) es un conjunto de entidades-sistema (E-S) pertenecientes a un intervalo de cuasi-descomponibilidad (ICD) cuya organización y propiedades (P) son debidas exclusivamente a las propiedades de sus componentes. Donde:*

- *el ICD es elegido en función del interés del observador*
- *una entidad-sistema es a su vez un mecanosistema de un ICD inferior*
- *P son propiedades de nivel seleccionadas del ICD anterior.*

Así, un mecanosistema quedaría definido por su ICD, sus entidades-sistema y sus propiedades:

$$MS = df(ICD, E-S, P)$$

Faltaría por definir el criterio para la elección de un mecanosistema dentro del continuo de materia. Establecidos los niveles restaría definir cuáles de todas las E-S existentes en ese plano son las que van a formar parte del mecanosistema y por lo tanto qué propiedades serán las que lo describan. Aquí se abre una doble posibilidad: a) se eligen los elementos y se observan las propiedades o b) se eligen las propiedades y se observan los componentes. De nuevo, la decisión entre las dos opciones es puramente heurística, siendo en general la opción b) la más utilizada en la ciencia: tras la observación de una propiedad se indaga en los elementos subyacentes en busca de aquellos responsables de ella. La búsqueda recursiva en niveles inferiores va construyendo un conjunto anidado de mecanosistemas formados por aquellos elementos que determinan la propiedad buscada. Sin embargo, este análisis  $P \rightarrow E-S$  tiene el inconveniente de dejar elementos fuera del mecanosistema no solo debido a la ignorancia o a los errores, sino en consideración de la descomponibilidad de sistemas cuasi-

descomponibles. Un estudio complementario E-S → P puede ayudar a comprender mejor el funcionamiento del MS y a afinar mejor la definición de las propiedades.

### 6.5 Un ejemplo: la bacteria y el coronel

Haciendo una analogía con el citado ejemplo de Craver sobre el virus y la muerte del general (Craver & Bechtel, 2007, p. 556), voy a exponer en detalle un caso en que la bacteria *Clostridium tetani* mata, por ejemplo, a un coronel<sup>50</sup>. En este caso parece indiscutible que ambos eventos pueden ser vistos como causa y efecto. De hecho, si encontramos la forma de evitar ese contacto eliminando los reservorios bacterianos se evitaría el tétanos. Pero si vamos más allá y queremos establecer con precisión las relaciones de causalidad y analizamos la sintomatología del tétanos, vemos que destaca la existencia de hipertoniá, trismus, opistótonos y espasmos (Ardila et al. 2005, 174), todos ellos relacionados con una contracción continua de la musculatura estriada. Por lo tanto, por debajo del ICD de organismo (el propio coronel), se escogen las entidades-sistema que se consideran implicadas, en este caso la musculatura estriada y su inervación. Al resto de elementos los eliminamos del mecanosistema.

Se denomina *principio de inervación recíproca* al hecho de que sean las mismas conexiones nerviosas las que inervan músculos agonistas y antagonistas, con la diferencia que la misma orden nerviosa que activa a los primeros, inhibe a los segundos. Esto implica simultaneidad en la contracción-relajación de grupos musculares contrarios evitando la contracción sincrónica y permitiendo, por ejemplo, el movimiento de elevación del antebrazo respecto del

---

50 Sostener que hay una relación causal más o menos directa entre microorganismos infecciosos y macroorganismos que enferman es algo habitual en la forma de entender la acción de virus o bacterias, y está presente ya en los postulados de (Koch, 1891). Así, los microorganismos que nos presentan estos postulados son agentes casuales que es posible identificar y aislar y que actúan en relación con otra entidad de nivel superior que podemos también identificar y aislar: el organismo (Gillies, 2016). No es extraño que el ejemplo que Craver escoge para hablar de la causación internivélica sea uno en el que una pequeña entidad, un virus, es responsable de enfermar a otra de un tamaño mucho mayor (ver sección 4.3). Sin embargo, y aún a pesar de lo intuitivo del ejemplo, decir que una infección viral es un caso de causación internivel no sería mas que el resultado de una simplificación de los procesos que realmente ocurren en una enfermedad infecciosa, simplificación que es denunciada frecuentemente en las revisiones críticas que se han planteado a los postulados Koch (p. ej. (Fredericks & Relman, 1996), (Gradmann, 2014).

brazo.

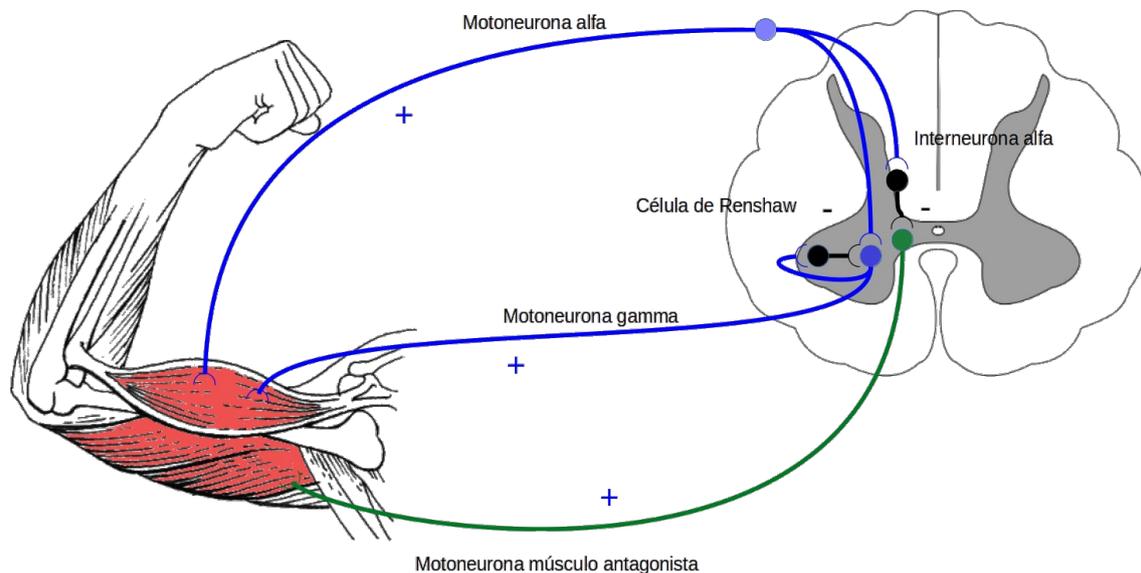


Figura 12: Principio de inervación recíproca

Dentro del mecanosistema anterior, el problema está relacionado con la activación – inhibición de la contracción muscular, por lo que de todas sus E-S el estudio se va a centrar en la comunicación neuronal, no tomando en consideración el funcionamiento del músculo ni otros elementos componentes del mecanosistema. En este fenómeno intervienen las neuronas que inervan los músculos agonistas, motoneuronas alfa y gamma, sus equivalentes del músculo antagonista y dos interneuronas espinales, las neuronas Ia y las células de Renshaw. De todas ellas, las dos últimas son las encargadas de la inhibición, característica que hemos tomado como clave en la elección de nuestros mecanosistemas. Así, instalados en el nivel celular y basándonos en la elección de una propiedad, elegimos a las neuronas inhibitorias como nuevo mecanosistema.

Cuando las motoneuronas alfa y gamma reciben la orden de contraer un músculo, lo hacen mediante una sinapsis activadora mediada por acetilcolina. A su vez, la motoneurona alfa establece sinapsis activadora con la interneurona Ia y la motoneurona gamma hace lo propio con la célula de Renshaw. La primera, la neurona Ia, hace sinapsis inhibitoria mediada por GABA con las motoneuronas de los músculos antagonistas, mientras que la segunda, la célula de Renshaw, hace lo propio con la motoneurona gamma, en esta ocasión mediante el

neurotransmisor inhibitor glicina (Ardila et al. 2005). Recordemos que el problema se debe a que los músculos que no deberían contraerse lo hacen debido a las neuronas inhibitoras. Así, éstas se constituyen como el nuevo mecnosistema, eliminando a las activadoras del análisis. Dentro de este mecnosistema nos centramos en la exocitosis de las vesículas cargadas de neurotransmisores inhibitoros, tomando como componentes de nuestro mecnosistema solo aquellos elementos implicados.

Ya a nivel macromolecular, en la parte terminal de la neurona, ciertas proteínas transmembranales de las vesículas cargadas de neurotransmisores se encuentran unidas a moléculas de actina del citoesqueleto del axón. La acción de la proteína quinasa-II dependiente del complejo calcio-calmodulina, actuá sobre la sinapsina-I, una de las proteínas membranales de la vesícula, deshaciendo esta unión. Una vez libre en el citosol, la vesícula se desplaza hacia la membrana pre-sináptica. Asociada a la sinapsina-I y a la membrana vesicular se localizan también otras proteínas, entre las que destacan las sinapsinas-II y III, la sinaptobrevina, la sinaptotagmina y la sinaptofisina, todas ellas implicadas en la fusión de la membrana vesicular con la presináptica. Al aproximarse la vesícula a la membrana, la sinaptobrevina forma el complejo SNARE con las proteínas presinápticas, especialmente con la syntaxina y la SNAP-25, unión dependiente de calcio-calmodulina, que provocará la fusión de los lípidos de membrana de la vesícula con los de la membrana presináptica, permitiendo la liberación de los neurotransmisores a la brecha sináptica (Hu et al., 2003). Los distintos neurotransmisores llevan a cabo diferentes acciones, en función también del receptor postsináptico. Si su unión al receptor provoca la transmisión del impulso nervioso a la neurona siguiente, son activadores (acetilcolina, histamina), si no lo hacen, son inhibitoros (glicina, GABA, serotonina).

La tetanoespasmina o toxina tetánica (TeTN) es un péptido producido por las esporas vegetativas de la bacteria *Clostridium tetani* que entra en las neuronas en el lugar de la infección gracias a la acción de una de sus partes, la denominada cadena pesada. Una vez dentro, se desplaza vía retroaxonal hasta alcanzar, entre otras, a las neuronas inhibitorias espinales del SNC implicadas en la inhibición recíproca antagonista anteriormente citadas, la interneuronas Ia y las células de Renshaw. La cadena ligera tiene una acción endopeptidasa dependiente de cinc a través de la cual entra en contacto con la sinaptobrevina en la secuencia

Ala(74)-Ser(75)-Gln(76)-Phe(77)-Glu(78)-Thr(79). En presencia de cinc (Schiavo et al., 1992), la actividad endopeptidasa de la cadena ligera secciona la sinaptobrevina en la unión Gln76-Phe77, dando lugar a dos fragmentos aminoacídicos (Rood et al., 1997, p. 308). Esta fractura impide la formación del complejo SNARE, la fusión de las membranas y la liberación de neurotransmisores GABA y glicina. Escalando niveles, la no liberación de GABA y glicina, no da lugar a la inhibición de los músculos antagonistas, lo que da lugar a la contracción simultanea de ambos paquetes musculares dando lugar a una clínica que sin tratamiento concluye con la muerte del coronel (Ardila et al. 2005, 174).

Viendo la relación de causación dentro de cada nivel, observamos que a) la toxina rompe la sinaptobrevina, b) la neurona con toxina no propaga el impulso nervioso, c) el sistema nervioso intoxicado no regula la contracción muscular y d) la persona intoxicada acaba falleciendo. Si consideramos la sincronía que nos hace ver la causalidad real intranivélica como causalidad internivélica, diremos que la toxina causa la muerte, pues de hecho esto es lo que se percibe. De ahí la falsa apariencia de causación internivel, cuando, estrictamente hablando, la bacteria *Clostridium tetani* no mata al coronel, sino que interacciona con ciertas moléculas que conforman un subsistema del coronel y, una vez que lo hace, un componente de esta bacteria (la tetanoespasmina) forma ya parte del mismo sistema y se debe considerar como un componente más, de igual manera que ocurre cuando un ADN vírico se integra en los genomas de las células parasitadas en los ciclos lisogénicos.

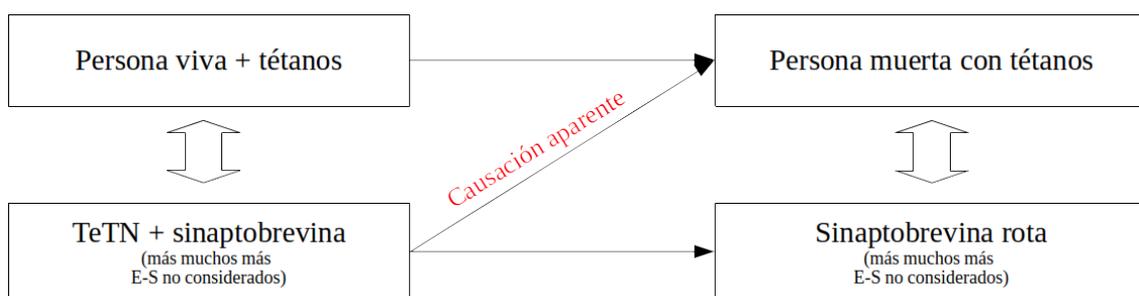


Figura 13: Relación entre la toxina tetánica y la muerte del coronel en función del nivel elegido.

Evidentemente el hecho diferencial es la existencia de la cadena ligera de la TeTN. Además, hay muchas líneas de mundo en el cono causal previo que no hemos considerado de forma que la simplificación es suficiente para que la relación causal no se de siempre y que haya

excepciones de forma que no siempre que hay TeTN se desencadena el efecto descrito. En cualquier caso, la causa, el cruce de líneas de mundo se da a nivel micro y la causación internivel es aparente.

### 6.6 Otro ejemplo: la RuBisCO

Por cambiar de tema y dejar un poco de lado los clásicos ejemplos relacionados con la neuroquímica, voy a poner otro ejemplo, en este caso relativo a la nutrición fotolitoautótrofa de los vegetales. Este fenómeno fotosintético es susceptible de ser estudiado desde diferentes perspectivas<sup>51</sup>. Podemos, por ejemplo, valorar los flujos de energía procedentes del sol y cómo estos inciden en un bosque transformándose en materia vegetal que repercute en la vida animal, el clima, etc. También podemos focalizar el estudio en cómo la luz es captada por las plantas a nivel de las hojas, cómo el flujo de agua y sales asciende por el xilema y después la savia elaborada se distribuye por el floema, cómo los estomas de las hojas sirven de zona de intercambio de aire y vapor de agua, etc. También puede radicar nuestro interés en la captación de los fotones energéticos de la luz por los fotosistemas proteicos, cómo las moléculas de la membrana tilacoidal siguen una secuencia de oxidaciones y reducciones que canalizan esta energía y como esta es utilizada para convertir el dióxido de carbono y el agua en materia orgánica. La ecología, la fisiología vegetal o la biología molecular serán las ciencias encargadas de realizar dichos estudios.

Cada una de las ciencias anteriores, por ejemplo la biología molecular en su estudio del cloroplasto, da un paso más en la simplificación al tratar al cloroplasto de manera similar a un estado equifinal de Bertalanffy (1976, p. 147), es decir, no considera uno u otro cloroplasto concreto, sino una idealización del cloroplasto formado por *un complejo de elementos en interacción* (1976, p. 33), pero de elementos seleccionados a priori. Estas ciencias tomarán como su *todo* a esta partición. Sin embargo, en su estudio considerará las partes componentes que estime oportunas para poder explicar el funcionamiento de este todo. Así, la ecología, además del ecosistema considerará a los individuos y su funcionamiento, la fisiología considerará las células y la biología molecular considerará los átomos y los iones. De aquí podemos extraer la idea de que cada ciencia, además de su propio  $\epsilon$ , usará como criterios de

---

51 Este ejemplo está contenido en (Cáceres, 2019).

sub-cuasi-descomponibilidad ( $\epsilon_i^{\text{sub}}$ ) aquellos de las ciencias situadas en niveles inferiores. Igualmente, las ciencias encargadas del estudio de niveles mesoscópicos deberán considerar los niveles inmediatamente superiores para comprender la influencia de *sus* todos en los *otros* todos, y de manera análoga a lo anterior tomarán los criterios de cuasi-descomponibilidad de las ciencias de los niveles superiores como criterios de supra-cuasi-descomponibilidad ( $\epsilon_j^{\text{supra}}$ ). De esta manera, con la elección de los niveles en los cuales una ciencia tiene *competencia secundaria* se establece lo que puede denominarse como intervalo ampliado de cuasi-descomponibilidad  $IA_{(i,j)} = [\epsilon_i^{\text{sub}}, \epsilon_j^{\text{supra}}]$ .

En este estudio de la fotosíntesis, y una vez elegido el nivel molecular, podemos caracterizar la enzima RuBisCO (ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa) como la proteína que lleva a cabo la primera reacción de la fijación del  $\text{CO}_2$  atmosférico durante la fotosíntesis vegetal, es decir, la enzima que inicia la transformación de la materia inorgánica a orgánica. Pero no la elegimos por su estructura, que es muy variable en todos los autótrofos que la poseen, sino por algunas de sus funciones. En concreto, por su acción carboxilasa, que inicia la fase oscura de la fotosíntesis, y por su función oxigenasa, contraria a la anterior, y que reduce la eficiencia de la fotosíntesis (Navarro, 2005, pp. 5-9). Desde este enfoque, la RuBisCO es una modelización de una molécula que comparte unos mínimos estructurales y que posee unas propiedades elegidas al nivel de observación de entre todas las que posee con la intención de explicar el fenómeno en cuestión. Es, por lo tanto, una entidad-sistema con ciertas propiedades de nivel. Tanto la estructura como las propiedades son deducibles completamente desde el nivel inferior, por lo que suponen propiedades resultantes, sin embargo, como el nivel inferior ha sido analizado y caracterizado de la misma forma (E-S y propiedades de nivel) el resultado parece emergente.

Un observador internivel verá que una situación fundamental  $F_0$  estará causada por otra previa  $F_{-1}$ , su correspondiente mesoscópica  $m_0$  lo estará por  $m_{-1}$  y la superior macroscópica  $M_0$  causada por una previa  $M_{-1}$ . Al hacer *zoom*, el observador no puede abarcar todo el fenómeno macroscópico por lo que se centra en cierto aspecto del nivel inferior, perdiendo perspectiva. Al ecólogo le interesan balances, al fisiólogo flujos, al biólogo molecular reacciones químicas. Sin embargo la interacción se da exclusivamente al nivel fundamental y por tanto la causalidad es solo a este nivel. La RuBisCO, una molécula, no contacta con el  $\text{CO}_2$ , otra

molécula, sino que solo ciertos átomos de ciertos aminoácidos de la proteína lo hacen. Esto nos da una idea de lo arbitrario de la elección de los ICD, pues incluso eligiendo elementos de un mismo nivel, observamos que no hay verdadera interacción causal entre ellos. De aquí que la interacción entre elementos de diferente tamaño que propone Craver resulte, como ya he comentado, problemática (Craver & Bechtel, 2007, pp. 456-457). Es cierto que los científicos hablan de esta forma cuando se refieren a los mecanismos moleculares, pero haciendo un salto de como mucho un nivel. Una explicación de la reacción catalítica de la RuBisCO y el CO<sub>2</sub> incluye expresiones como “*unión de la ribulosa bifosfato al sitio catalítico previamente activado*”, “*formación de un 2,3-enodiol por desprotonación del C3*”, “*ataque nucleofílico del CO<sub>2</sub> en el C2*”, “*hidratación en el C3*” y “*desprotonación a nivel del C3-O, que inicia la ruptura del enlace C2-C3 dando lugar a dos moléculas de 3-fosfo-D-glicerato*” (Navarro, 2005, p. 6). En ellas se cruzan elementos de diferentes niveles, pero como mucho del nivel elegido y los inmediatamente inferior y superior, de forma que no se pierde la perspectiva.

Cuando se observan todos los niveles a la vez resulta intuitivo analizar aspectos diacrónicos como si fueran sincrónicos, obviando el diferencial de tiempo  $dt$  transcurrido y mezclando la explicación causal con la relación de identidad internivel, para concluir que  $F_{-1}$  causa  $M_0$  y que  $M_0$  causa  $F_{+1}$  generando una falsa sensación de causalidad ascendente y descendente que, en realidad, no son sino aparentes. En el ejemplo anterior, el ataque nucleofílico del CO<sub>2</sub> conduce a una reordenación electrónica, que visto desde la perspectiva molecular, es la ruptura de una molécula en dos. Obviando el  $dt$  podemos expresarlo como que el ataque nucleofílico es la causa de la formación de dos moléculas, entendido como una relación causal ascendente, cuando es una causalidad ascendente *solo aparente*. En el otro sentido, es común expresar en forma de causación descendente que la RuBisCO es la causante del mantenimiento de sus sitios activos, cuando es una cuestión de la secuencia de los átomos de los aminoácidos y su interacción con el agua de disolución. De nuevo se trata de un cruce entre niveles al excluir el  $dt$  transcurrido en la observación.

Desde la perspectiva de la cuasi-descomponibilidad que considera al mundo como un continuo material, faltaría por definir el criterio para la elección de los mecanosistemas dentro de éste. Lo primero que habría que hacer sería establecer el intervalo de cuasi-descomponibilidad sobre el cual se va a trabajar. En principio, esta es una decisión sencilla

pues la ciencia que se plantee el análisis elegirá como ICD aquel que forme parte de su dominio. La ecología, la fisiología y la biología molecular escogerán sus ICD por defecto. Una vez establecidos los niveles restaría definir cuáles de todas las E-S existentes en ese plano son las que van a formar parte del mecanosistema y por lo tanto qué propiedades serán las que lo describan. Aquí se abre una doble posibilidad ya comentada de elegir elementos y analizar sus propiedades o hacerlo al revés. De nuevo, la decisión entre las dos opciones es puramente heurística, siendo en general la segunda la elegida tras la observación del fenómeno y la indagación en los elementos subyacentes en busca de sus responsables. La búsqueda recursiva en niveles inferiores va construyendo un conjunto anidado de mecanosistemas formados por aquellos elementos que determinan la propiedad buscada. Sin embargo, este análisis descendente desde el fenómeno hasta las E-S tiene el inconveniente de dejar elementos fuera del mecanosistema no solo debido a la ignorancia o a los errores, sino a la consideración de descomponibilidad de sistemas cuasi-descomponibles. Un estudio ascendente complementario desde la E-S hasta el fenómeno puede ayudar a comprender mejor el funcionamiento del MS y a afinar mejor la definición de las propiedades. En el ejemplo que nos ocupa, el fenómeno fotosintético dio pie a indagar en los componentes subyacentes dando como resultado el descubrimiento de la RuBisCO como enzima implicada. Pero también se descubrió que la misma enzima es la que cataliza la fotorrespiración, fenómeno “contrario” a la fotosíntesis. También es el caso de las denominadas proteínas multifuncionales o pluriempleadas (*moonlighting proteins*) que son aquellas que desempeñan diferentes funciones en función de su entorno. Un ejemplo concreto son las proteínas intrínsecamente desnaturalizadas (PINE) que son capaces de cambiar su conformación, unir diferentes ligandos y desempeñar diferentes funciones en función del ambiente (Cuevas-Velázquez & Covarrubias-Robles, 2011). En el estudio de este tipo de proteína es muy eficaz analizar su comportamiento una vez identificada y descrita bioquímicamente.

## **7 Derivaciones de la consideración de cuasi-descomponibilidad.**

La aceptación de la tesis de la cuasi-descomponibilidad y la supresión de la consideración ontológica de las propiedades emergentes, nos permite analizar las formas explicativas que de una forma más o menos fuerte asumen la existencia de estas propiedades. Olivier Sartenaer “*Sixteen Years Later Making Sense of Emergence (again)*” (Sartenaer, 2016) lleva a cabo una taxonomía del emergentismo estableciendo un eje entre el fisicalismo reductor y el organicismo holista, de manera que deja entre ambos las distintas variedades de emergencia según las asunciones que cada variante hace. Los dos puntos de vista situados en los extremos del eje tienen dos posiciones radicalmente diferentes, monismo absoluto el primero y pluralismo radical el segundo, por lo que parece difícil establecer una línea que los una y que permita a las diferentes posturas intermedias comprometerse con ambas tesis. La dificultad al trazar este eje estriba en el establecimiento de una continuidad a la vez que una discontinuidad entre el nivel superior y el inferior, es decir, entre la entidad emergente y su base subyacente (2016, p. 4). Este fuerte contrasentido inicial se hace solo relativo al relajar las exigencias del monismo y del pluralismo. Así, Sartenaer define tres tipos de monismo, que en orden creciente de exigencia son (2016, pp. 6-7): a) monismo de sustancia, lo que implica que todo está formado exclusivamente por partículas físicas, b) monismo de propiedades, que asume que las cualidades derivan de forma resultante de las propiedades de sus componentes y c) monismo de predicados, que asevera que las proposiciones científicas son derivables de combinaciones de predicados elementales. Cada tipo es más fuerte que el anterior y lo incluye, por lo que el monismo de predicado presupone el de propiedad y éste incorpora al de sustancia. De igual manera, desde el punto de vista opuesto, existen tres formas de pluralismo

que no son sino las formas contrarias de los monismos, igualmente abarcadoras.

En los extremos se situarían dos formas no emergentes, es decir, dos enfoques que no pretenden hacer coexistir continuidad con discontinuidad entre los niveles micro y macro. En un lado, el enfoque fiscalista reductor, que contempla una continuidad total y acepta el monismo máximo, el de predicado. En el otro, el pluralismo de sustancia, que admite una discontinuidad total y no contempla ningún tipo de monismo, ni tan siquiera el de sustancia. Entre medias quedarían las posturas emergentes, que aúnan continuidad y discontinuidad y que coinciden en aceptar el monismo de sustancia y en negar el monismo de predicado. La diferencia, por tanto, va a situarse en la aceptación o rechazo del monismo de propiedad y en como lo justifican. La primera distinción da lugar a dos formas de emergencia, lo que Sartenaer denomina fisicalismo<sup>R</sup> no reductor, cuando sí lo considera y el materialismo<sup>C</sup> no reductor, cuando no lo hace. Estas dos posturas están situadas al lado de los extremos no emergentes y son (casi) equiparables a los conceptos de emergencia débil y fuerte o de emergencia epistemológica y ontológica de otras clasificaciones más clásicas (Sartenaer, 2016, p. 8). El autor añade una distinción más en función de como consideran la citada continuidad y la discontinuidad. Por un lado, el materialismo<sup>C</sup> no reductor acepta una continuidad sustancial y una discontinuidad causal, por el otro, por el lado del fisicalismo no reductor, Sartenaer ve dos enfoques diferentes para la discontinuidad: a) de forma funcional, cuando asumen que las teorías macro no pueden derivarse teóricamente (en sentido nageliano (Nagel, 1961)) sino funcionalmente (como afirma Kim, por ejemplo en (Kim, 1999)) y b) de forma explicativa, cuando no asume ningún tipo de derivación de los predicados. A estas visiones las denomina, respectivamente fisicalismo no deductivo y fisicalismo<sup>R\*</sup> no reductor.

En resumen, (Sartenaer, 2016, p. 9) clasifica la emergencia en tres tipos:

- *Emergencia teórica - continuidad causal y discontinuidad teórica* “Las teorías sobre el todo no pueden derivarse lógicamente de las teorías sobre las partes”.
- *Emergencia explicativa - continuidad causal y discontinuidad explicativa* “El comportamiento del conjunto no puede explicarse adecuadamente sobre la única base de un conocimiento completo del comportamiento de las partes”.

- *Emergencia causal - continuidad sustancial y discontinuidad causal “El conjunto presenta poderes causales genuinamente nuevos que no son idénticos a ninguna combinación de los poderes de las partes”.*

Cada una de las cuales hace las siguientes asunciones:

EMERGENCIA SEGÚN MONISMO/PLURALISMO	Monismo de sustancia	Monismo de propiedad	Monismo de preposición	¿aúnan continuidad y discontinuidad?	¿Emergencia?
Fisicalismo reductor	si	si	si	No	No
Fisicalismo no deductivo	si	si	no	Si, funcional	teórica
Fisicalismo <sup>R*</sup> no reductor	si	si	no	Si, explicativa	explicativa
Materialismo <sup>C</sup> no reductor	si	no	no	Si, causal	causal
Pluralismo de sustancias	no	no	no	No	No

La continuidad (y la discontinuidad) a las que se refiere Sartenaer es la que se establece entre la relación entre el nivel micro (m) y el nivel macro (M) de un todo. Por una parte, cuando analizamos un determinado aspecto de abajo hacia arriba, hablamos de *micro-determinación*, es decir, estudiamos como los elementos del nivel inferior determinan el superior. La existencia de esta determinación es necesaria en todas las posiciones que aceptan un mínimo grado de monismo y por lo tanto rechazada en la postura puramente pluralista. Por otra, cuando el análisis es descendente, esto es, cuando miramos la influencia entre el nivel superior y el inferior, hablamos de *macro-determinación* o de como el todo afecta a sus partes. Al contrario que la anterior, este tipo de relación es aceptado por todos los enfoques que aceptan algún grado de pluralismo y firmemente rechazado por la asunción monista pura, el fisicalismo reductor. Por consiguiente, los tres tipos de emergencia descritos deben aunar cierto grado de continuidad con cierto grado de discontinuidad, tanto en dirección ascendente como en la descendente.

Siguiendo con esta taxonomía, Sartenaer diferencia dos formas de micro-determinación, una más fuerte y otras más débil. La fuerte la va a relacionar con las posturas emergentes más suaves, mientras que la débil la incluye en las posiciones más estrictas. La primera, la forma fuerte es la *realización*, entendida (en principio) como una relación de mera composición en

lo material. Así, un nivel macro está compuesto de ciertos elementos del nivel micro, o visto en sentido contrario, el nivel macro se realiza en sus componentes. La segunda, la forma suave, es la *superveniencia*, lo que implica asumir constitución, pero no solo constitución, continuidad material pero discontinuidad de propiedad y exclusión de herencia causal (Sartenaer, 2016, p. 13).

El análisis de la macro-determinación es similar, en el sentido de aceptar posturas más fuertes y más débiles. La forma débil de la continuidad descendente es la que Sartenaer (2016, p. 14), denomina “estilo Sellars” (ver, por ejemplo, (Sellars, 1922)) y que se caracteriza por distinguir entre una causación intranivel eficiente y una causación internivel no eficiente que condiciona, restringe, constriñe a la intranivel. La forma fuerte de determinación *top-down* es la clásica forma de la causación descendente que Sartenaer denomina “estilo Sperry”, que no es otra que la forma ya propuesta por (Spaulding, 1912, p. 158), y que desarrollaron posteriormente (Campbell, 1974) o (Sperry, 1969). Esta es una forma de causación eficiente, reflexiva y diacrónica (Sartenaer, 2016, p. 12) que implica que el nivel macro, surgido por superveniencia, determina el nivel micro que lo compone. No obstante, el aspecto reflexivo no es algo compartido por todos los defensores de la causación descendente y puede verse de forma absoluta (en línea con el estilo Sperry) si se considera que el nivel macro de un todo condiciona los elementos componentes de ese mismo todo, o de forma suave al considerar que un todo condiciona causalmente las partes de otro *todo* próximo, pero no de sus propios componentes. Esta forma es la descrita, y aceptada por considerarla ubicua y no problemática, por enfoques mecanicistas como el de (Craver & Bechtel, 2007) y por la visión organizacional que considera la forma reflexiva innecesaria para la descripción del cierre de constricciones (Mossio et al., 2013, p. 169). Un aspecto a destacar de esta visión común entre posiciones *a priori* alejadas como las del cierre organizacional y el mecanicismo es lo que (Gillett, 2016, p. 113) denomina *ontología colectivista*. Con este término se hace referencia a la asunción de los científicos reduccionistas de que, si bien los niveles macro están compuestos por sus elementos micro, *existen* entidades individualidades en ambos niveles. En el caso de las del nivel superior, tendrán propiedades novedosas bungeanas (Bunge, 2004, p. 32), (aunque no genuinamente novedosas) pero no dispondrán de poderes causales. Sin embargo, a la vista de las consecuencias que se derivan de las acciones de las constricciones sobre los componentes

de otros todos adyacentes a ellas, los defensores del *closure* no tienen la misma opinión sobre los poderes causales. Por lo tanto, la causación descendente reflexiva del mecanicismo se diferencia de la versión auto-organizativa en la potencia causal, por lo que prefiero denominarla causación descendente pseudo-reflexiva.

De aquí que haya realizado un desarrollo de las variantes explicativas que asumen cierto grado de emergencia, la postura mecanicista y la basada en algún tipo de cierre.



## 8 Una revisión de la propuesta mecanicista

El concepto de mecanismo es clave para comprender ontológicamente y explicativamente los fenómenos observables (Kuhlmann & Glennan, 2014, p. 337). Esto es algo especialmente patente en las posturas actuales de campos de la filosofía de la ciencia, como la filosofía de la biología, la filosofía de la tecnología o la filosofía de las ciencias sociales. Los principales postulantes de las explicaciones mecanicistas afirman que en ámbitos científicos se considera “hacer ciencia” al hecho descubrir y describir mecanismos (Machamer et al., 2000, p. 2) y, aunque siempre hay críticos a esta postura (cfr. (Dupré, 2013)), hay un sólido consenso acerca de que la explicación por mecanismos es la mejor forma de explicación científica<sup>52</sup> (Levy, 2013, p. 100).

No obstante, es importante señalar que no hay en el debate filosófico actual una definición única de mecanismo, sino varias descripciones distintas de lo que, en principio, parecía una intuición clara para los científicos. Esta intuición podría expresarse diciendo que un mecanismo sería, en su sentido más general, *un conjunto de partes que interaccionan entre ellas para dar lugar a un fenómeno*.Cuál es la naturaleza de estas partes, cómo se asocian para formar un conjunto o qué tipo de interacción establecen entre sí son cuestiones abiertas que admiten tantas interpretaciones como postulantes.

Probablemente, la propuesta más significativa dentro del mecanicismo sea la desarrollada en el artículo germinal del denominado Nuevo Mecanicismo: *Thinking about Mechanisms*, de Peter Machamer, Lindley Darden y Carl F. Craver<sup>53</sup> y en los trabajos posteriores de Craver

---

52 En este capítulo se introducen varios apartados del artículo (Cáceres & Saborido, 2018)

53 En adelante denominaré a esta propuesta MDC. Aunque existen otras propuestas de carácter similar pero con

tales como (Craver, 2001), (Craver, 2006), (Craver, 2007) o (Craver, 2013).

Para MDC un mecanismo estaría formado por entidades y actividades organizadas que son productoras de cambio (Machamer et al 2000, 3). Esta definición general es adoptada por todas las posturas mecanicistas. Glennan afirma que un mecanismo subyacente a un comportamiento es un sistema complejo que produce tal comportamiento por interacción de un número de partes de acuerdo con leyes causales directas (Glennan, 1996, p. 52). Bechtel propone que un mecanismo es una estructura que desempeña una función en virtud de sus componentes, operaciones componentes y su organización. El funcionamiento orquestado del mecanismo es responsable de uno o más fenómenos (Bechtel & Abrahamsen, 2005, pp. 423-424).

Por lo tanto, un presupuesto básico del mecanicismo es la postulación de la existencia de *partes* discretas, es decir, objetos reales como moléculas o células en los cuales es posible descomponer un sistema más o menos complejo. Los mecanicistas consideran que para poder identificar partes genuinas de un sistema basta con encontrar entidades componentes del mismo que tengan unas características estables, sean físicamente detectables mediante diferentes métodos, se puedan usar para intervenir en otros procesos, sean fisiológicamente plausibles y sean relevantes para explicar el fenómeno (Craver, 2006, p. 371).

Un segundo aspecto a tener en cuenta es que, además de considerar que las partes son entidades reales y diferenciadas, MDC da la misma consideración ontológica a las *actividades*, adoptando de este modo una postura claramente dualista frente a posiciones sustantivistas como las de (Bechtel & Richardson, 1993) o (Cartwright, 1994) o de los ontologistas de procesos como (Rescher, 1996)<sup>54</sup>. Para MDC un sistema puede descomponerse

---

diferencias considerables, como las de Stuart Glennan (Glennan, 1996) (Glennan, 2002) o William Bechtel (Bechtel & Abrahamsen, 2005) (Bechtel & Richardson, 1993), es en MDC en donde se presentan las líneas principales que conformarán el marco explicativo mecanicista desde entonces.

54 Stuart Glennan, otro filósofo del neo-mecanicismo, contrasta la caracterización ontológica de las actividades de MDC con su propio enfoque (Glennan, 1996) y el de Bechtel y Richardson (1993) claramente sustantivistas. Kuhlmann y Glennan apuntan (2014, p. 340) que este dualismo podría tener sentido para aclarar que no se puede hacer referencia solo a las partes, a pesar de sugerir una independencia implausible entre entidades y actividades. Aun así, le resta importancia por ser una idea no desarrollada posteriormente, a

en partes y actividades, siendo las actividades lo que las partes hacen y lo que las engarza entre sí conformando un mecanismo. En otras palabras, es la relación entre partes establecida a través de sus actividades lo que conforma la organización de un sistema, y esta organización es explicable en términos mecánicos.

El tercer aspecto que emana de la definición de mecanismo es el referido al tipo de *interacción* entre las entidades. Las explicaciones en términos de mecanismos hacen referencia a la relación causal entre las partes y sus actividades. Aunque no hay un consenso claro entre los mecanicistas acerca de cómo debe entenderse la causalidad<sup>55</sup>, puede defenderse que el enfoque causal del mecanicismo parte del enfoque de Wesley (Salmon, 1994) y Phil (Dowe, 2000) de las cantidades conservadas y en la perspectiva manipulacionista de James (Woodward, 2003) y su interacción etiológica ideal.

El cuarto y último aspecto general del mecanicismo hace referencia también a la *organización*, concretamente a la estructura jerárquica presente en muchos de los sistemas estudiados por los científicos, que permite identificar diferentes niveles de organización de la materia y es fundamental en las actividades llevadas a cabo por él. La clave es que cada elemento componente de un mecanismo puede ser a su vez otro mecanismo y, por lo tanto, estaría igualmente formado por elementos organizados que interaccionan entre sí de forma causal directa. Consecuentemente, sería posible descomponer un mecanismo en otros mecanismos, lo que introduce en el marco mecanicista la idea de nivel.

Los mecanicistas insisten en resaltar que los mecanismos son, sobre todo, herramientas conceptuales que han de servir para la explicación de los fenómenos y, por lo tanto, han de permitirnos abordar características del fenómeno a explicar. Cuando los científicos apelan a mecanismos están siempre eligiendo un nivel concreto de organización. Es decir, dentro de la jerarquía anidada de un sistema, se escoge el nivel más pertinente para abordar el fenómeno

---

pesar de seguir siendo la base de la definición de mecanismo en los trabajos más recientes de Craver (2007, pp. 64, 171, 177, 189), (Craver, 2013, p. 7).

55 El desacuerdo emana del tratamiento óntico concreto de las actividades que se plantea MDC. Aunque autores como Kuhlmann y Glennan (2014, p. 340) tratan de minimizar la importancia de este desacuerdo, autores como Craver (2007, pp. 64, 171, 189) han insistido en el mismo reivindicando sus implicaciones para la interpretación de la validez y el alcance del mecanicismo.

que se quiere explicar y se apela a los mecanismos, sus elementos y sus relaciones causales que se localizan a este nivel.

La explicación por mecanismos se utiliza de forma habitual dentro de la biología para la elucidación de la forma en la que transcurren las interacciones entre moléculas y agrupaciones de éstas, especialmente dentro del campo de la biología molecular y de la fisiología celular. De hecho muchos de los ejemplos a los que aluden los mecanicistas sean ejemplos de mecanismos biológicos, como el mecanismo de la visión o el de la sinapsis neuronal<sup>56</sup>. En este ámbito desarrolla Craver gran parte de su propuesta mecanicista. Así, considerando las características propias del sistema neuronal, Craver considera que la mejor opción para dar cuenta de los fenómenos neurológicos es la de descomponer el sistema neuronal en niveles de composición, pero no con base simplemente espacial o material, sino en niveles que supongan una identificación de mecanismos concretos (Craver, 2007, p. 189).

Estos niveles mecanísticos estarían formados por *entidades y actividades* que cumplen dos condiciones. Por una parte son composicionales, pero no simples niveles de tamaño que pueden alojar regularidades. Por otra, Craver destaca que estos niveles no están formados por objetos pasivos correspondientes a entidades clásicas, sino por objetos actores. Considerando una sinapsis neuronal, una división clásica distinguiría dos neuronas, entendiendo la brecha interneuronal como una separación entre componentes, mientras que el enfoque mecanístico entiende la porción terminal de la neurona pre-sináptica, la hendidura y la porción inicial de la neurona post-sináptica como un mecanismo. Resulta así evidente que el mecanicismo supone una visión enfocada a la función (cfr. Garson 2013). Craver cree que es mejor hablar de jerarquías particulares en vez de estructuras anidadas generales pues, según su propuesta, solo puede decirse que dos objetos forman parte del mismo nivel si son componentes del mismo mecanismo, es decir, si contribuyen a la misma función (Craver, 2007, pp. 192-193) (cfr. también (Craver, 2001).

---

56 Además de esta abrumadora presencia de ejemplos biológicos en los trabajos mecanicistas, en muchos de estos trabajos también se han presentado casos relativos a otros ámbitos, como los ejemplos de mecanismos en el mundo cuántico (Kuhlmann & Glennan, 2014) y a nivel poblacional y social (Hedström & Ylikoski, 2010). En este artículo nos centraremos en los casos biológicos, sin pensar por ello que las observaciones que aportamos no puedan ser extrapoladas a las explicaciones basadas en mecanismos para otras ciencias (cfr. (Steel, 2007).

Un mecanismo se puede descomponer en componentes que se consideran del mismo nivel, pero al descomponerlos de nuevo nos encontramos con la postulación de nuevos niveles. Una de las cuestiones centrales del mecanicismo está en clarificar si se da una relación causal no solo entre elementos de un mismo nivel a través de un mecanismo, sino también entre mecanismos que son localizables en diferentes niveles. Craver y Bechtel (2007) han abordado esta problemática cuestión de la causación internivélica y han propuesto una solución a la misma que se basa en tres puntos (Craver & Bechtel, 2007, p. 550).

Por una parte, Craver y Bechtel distinguen la cuestión de la causación internivel de la relación causal entre entidades de diferente tamaño. Según lo explicado arriba, las relaciones causales entre las partes se establecen por su pertenencia a un mismo mecanismo, y los componentes de un mismo mecanismo pertenecen consecuentemente a un mismo nivel, por lo que hablar de relación internivel entre mecanismos diferentes o entre componentes de esos mecanismos carece de sentido. La única relación posible entre niveles es de constitución, es decir, mecanismos y elementos de un nivel más bajo *componen* los mecanismos de niveles más alto.

En segundo lugar, Craver y Bechtel afirman que los niveles están definidos contextualmente, lo mismo que las ciencias, insistiendo en que no hay razón por la que una categoría ontológica, como las moléculas, no pueda interaccionar con otra, como las células, aún cuando su categorización se haya hecho siguiendo criterios distintos.

Para finalizar, Craver y Bechtel intentan compatibilizar su enfoque mecanístico con la emergencia de propiedades. Para ellos, los niveles superiores son siempre explicables en términos de mecanismos. En contraposición, consideran que solamente sería *fuertemente emergente* aquel fenómeno que no puede explicarse por mecanismos, incluso aunque emerja de la organización de un mecanismo (Craver & Bechtel, 2007, p. 551). Sin embargo, afirman que lo fuertemente emergente emana de una consideración de nivel caracterizada por no ser de tipo constitutivo, y que por lo tanto no se correspondería con la concepción de nivel por ellos defendida. Además, afirman que la idea de la causación internivel con respecto al surgimiento de propiedades emergentes es diferente de la causación descendente en propiedades *mundanas*, por lo que creen que pueden desvincular la idea de emergencia de la

de causación descendente (Craver & Bechtel, 2007, p. 550). Craver y Bechtel consideran que esta interpretación de la relación internivélica se corresponde con el pensamiento científico. Afirman explícitamente que la forma de trabajar de los científicos tiene mucho que ver con la consideración de la causalidad internivel, pues estos diseñan los experimentos buscando la correlación entre micro-estructuras y macro-funciones (Craver & Bechtel, 2007, p. 553).

El enfoque mecanicista ha sido profusamente criticado por distintas razones por autores como Barberis (2012), Levy (2013) o Wright (2012), entre otros. En este trabajo no se pretende hacer una nueva crítica a este modelo explicativo, sino tratar de fortalecerlo contrastando dicho enfoque con nuestro trabajo previo (Cáceres y Saborido 2017), ofreciendo una alternativa sólida a las formulaciones predominantes del mecanicismo.

El mecanicismo en sus formulaciones predominantes tiene una ambición claramente epistemológica o explicativa (Levy, 2013, p. 100) y por ello sacrifica la adecuación óptica en favor de la comprensión. Tal y como puede verse en los trabajos de Craver, la definición de niveles de mecanismo está basada más en la pertinencia explicativa con respecto a los intereses del investigador que en las propiedades organizacionales de los sistemas cuyos fenómenos se pretende explicar. Sin embargo, cabe preguntarse si un modelo explicativo adecuado para las ciencias biológicas no debería realmente partir de la concreción de la naturaleza de la materia biológica, por lo que una adecuada definición de nivel que tenga en cuenta las propiedades distintivas de los sistemas biológicos sería clave para el correcto desarrollo de una idea de mecanismo apropiada para la biología.

Según el enfoque desarrollado en este trabajo,  $\epsilon$  funciona como criterio para la compartimentación de la materia en niveles que si bien permite elegir heurísticamente dichas divisiones, lo hace basándose en criterios que emanan de las propiedades de los elementos fundamentales de la materia. Puede afirmarse que esta perspectiva favorece una elección de niveles arbitraria pero no caprichosa, lo que permite mantener una visión de la naturaleza como un continuo con la visión científica tradicional de que es posible distinguir niveles anidados. Además, lo hace sin tener que recurrir a propiedades emergentes como complemento a la explicación mecanística.

Considerar que los niveles explicativos se corresponden con los intervalos de cuasi-

descomponibilidad permite elaborar una perspectiva sistémica de la explicación mecanística que propone la idea de mecosistema como elemento central de la misma. La caracterización de los sistemas como entidades con mecosistemas anidados conlleva una nueva interpretación de la causalidad inter e intranivélica y de la relación inter e intrasistémica, tal y como queda de manifiesto cuando observamos con detalle la relación entre la bacteria y el coronel.



## **9 Una revisión de la propuesta de cierre organizacional.**

### **9.1 Cierre de constricciones y propiedades emergentes**

En el otro extremo de las formas emergentistas de la taxonomía de Sartenaer tenemos las perspectivas que proponen la idea de auto-organización. Es ya un lugar común asumir que uno de los conceptos clave para describir el comportamiento de ciertos sistemas complejos es el de auto-organización. La capacidad de auto-organización de los sistemas hace referencia al proceso por el cual las interacciones locales entre los elementos de un sistema producen patrones de comportamiento sin que para ello sea necesario ningún tipo de coerción o control externo (Anderson, 2002, p. 248). Una perspectiva cada vez más influyente en filosofía de la biología fundamenta esta idea de auto-organización para ciertos sistemas, especialmente los sistemas biológicos, en el cierre organizacional, es decir, la interacción íntima entre constricciones que da lugar a propiedades con poderes causales que determinan el automantenimiento (F. J. Varela & Bourgine, 1992), (Van de Vijver & Chandler, 2000), (Mossio & Moreno, 2010), (Montévil & Mossio, 2015). Así, este cierre organizacional parece fundamentarse en una relación de emergencia entre los componentes de un sistema y sus capacidades o propiedades globales, lo que conduce por tanto a la postulación de propiedades ontológicamente irreducibles con poderes causales distintivos (esto es, propiedades emergentes) que permiten explicar fenómenos como el auto-mantenimiento biológico (Mossio et al., 2013, p. 153).

Tal y como señalan Álvaro Moreno y Matteo Mossio en su *Biological Autonomy. A Philosophical and Theoretical Enquiry* (Moreno & Mossio, 2015), desde que Francisco Varela hablara del sistemas operacionalmente cerrados (F. Varela, 1979, p. 58), la idea de cierre

ligada a la autonomía ha trazado una línea de pensamiento en la filosofía de la biología en la que destacan los trabajos de autores como Howard Pattee, Robert Rosen o Stuart Kauffman (Moreno & Mossio, 2015, p. 1). De forma general, se puede describir el cierre organizacional como el régimen causal distintivo de los sistemas biológicos. En los sistemas organizacionalmente cerrados el conjunto de constituyentes se producen y mantienen entre sí a través de una red de interacciones mutuas, de manera que se puede decir que todo el sistema es colectivamente capaz de auto-producirse y auto-mantenerse (Mossio et al., 2013, p. 154).

Esta definición es lo suficientemente restrictiva como para diferenciar el cierre organizacional de otro tipo de régimen causal, como la homeostasis o el *feed-back* negativo, y lo suficientemente general como para poder ser aplicado a todos los procesos de auto-mantenimiento biológico. No obstante, y como apuntan también Moreno y Mossio (2015, p. 2), el concepto de cierre no tiene una definición única.

Una de las propuestas más desarrolladas en los últimos años interpreta el cierre organizacional como cierre de constricciones, en línea con las propuestas de Pattee, quien definió las constricciones como *”causas locales y contingentes, ejercidas por estructuras o procesos específicos, que reducen los grados de libertad del sistema sobre el que actúan”* (Pattee, 1972). Así, las constricciones son entidades que actúan sobre las condiciones de entorno que permiten que una estructura dinámica alejada del equilibrio termodinámico se auto-mantenga (Moreno & Mossio, 2015, p. 11).

Esta es una propiedad distintiva de los seres vivos, pues no todas las organizaciones en las que se da un auto-mantenimiento presentan un cierre de constricciones. Estructuras como los sistemas disipativos de (Prigogine, 1978) son auto-organizativas y su acción global contribuye a su automantenimiento, pero no presentan un cierre de constricciones. Al contrario de lo que ocurre con la mayoría de los sistemas físicos, el automantenimiento de los sistemas con cierre de constricciones no está únicamente determinado externamente por las condiciones de contorno, sino que está también internamente determinado (Mossio & Bich, 2017) dado que el conjunto de constricciones es responsable de la acción constrictiva de cada una de las constricciones que forman parte de este conjunto. Cada constricción particular ejerce una influencia causal en otras constricciones y, al mismo tiempo, son causalmente influidas por

otras constricciones, dando lugar a un régimen causal que, en último término, conlleva el automantenimiento global.

Un ejemplo de constricción sería una enzima. Las enzimas son proteínas formadas por aminoácidos, a su vez formados por átomos de los bioelementos principales, cuyo papel biológico consiste en llevar a cabo las reacciones químicas del metabolismo celular. En ausencia de la enzima adecuada, dos sustratos no reaccionarían en condiciones biológicas de presión y temperatura, pero en su presencia, se lleva a cabo una significativa rebaja de la energía de activación de forma que estas reacciones pueden tener lugar. Es por tanto posible decir que la presencia de enzimas restringe las opciones de los sustratos, reduciendo sus grados de libertad y canalizándolas de forma tal que hacen posible los procesos metabólicos celulares. Además, la acción constrictiva de las enzimas, en este caso la acción catalizadora, es una condición necesaria para la formación y acción de otras enzimas, de forma que se forma un cierre de constricciones entre éstas, gracias a estas propiedades emergentes que son las acciones constrictivas de las enzimas.

Consecuentemente, el cierre organizacional de constricciones es entendido como un régimen emergente de causalidad: la organización que emerge de esta interacción entre las constricciones biológicas tiene un poder causal con respecto a las mismas constricciones, en tanto en cuanto determina su comportamiento (Mossio et al., 2013, p. 155). Por ejemplo, las propiedades catalíticas de las enzimas emergen de las de los átomos que las componen, es decir, no son reducibles a éstas pues solamente son identificables y describibles en el nivel de la organización celular. Esto parece asumir además una causación descendente internivel: el cierre de constricciones es una propiedad de los sistemas biológicos en un nivel (el de la organización) que tiene propiedades que influyen causalmente en el comportamiento de los componentes del sistema a niveles inferiores (como el auto-mantenimiento biológico) y que no son reducibles a estos.

Así pues, la noción de cierre de constricciones parece asumir la existencia de propiedades emergentes con poderes causales distintivos:

*"Las constricciones son configuraciones que, en virtud de las relaciones existentes entre sus propios constituyentes, poseen propiedades emergentes que les permiten*

*ejercer poderes causales distintivos sobre su entorno, y específicamente sobre los procesos y reacciones termodinámicos. Cuando un conjunto de constricciones realiza un cierre, la organización resultante constituye una especie de régimen emergente de causalidad de segundo nivel, que posee propiedades y poderes causales irreductibles: en particular, las organizaciones son capaces de autodeterminarse (y, más precisamente, de automantenerse) como un todo (algo que no puede hacer ninguna de sus restricciones constitutivas)". (Moreno & Mossio, 2015, p. 61)*

La idea de este capítulo es cuestionar precisamente estas asunciones emergentistas. El argumento principal es que la idea de cuasi-descomponibilidad de Simon permite una reinterpretación reduccionista del cierre de constricciones. En primer lugar, sostendré que las propiedades aparentemente emergentes pueden interpretarse como propiedades de nivel según un enfoque simoniano. Además, la distinción entre niveles entendidos como intervalos de cuasi-descomponibilidad es algo que depende del foco de observación. En respuesta a lo defendido por Mossio, Bich y Moreno (2013) defenderé que el cierre organizacional no puede considerarse como un régimen emergente de causalidad y que todo tipo de causación internivélica es susceptible de ser descrito en términos reduccionistas. De hecho, la misma noción de individualidad puede abordarse también como una propiedad de nivel; y la causación internivel, tanto reflexiva como no reflexiva, no sería sino una consecuencia de una asincronía en la asunción de causalidad. En conclusión, si bien la idea de cierre de constricciones es una herramienta de gran valor heurístico para la comprensión de los sistemas vivos, esta no conlleva necesariamente la asunción de una emergencia de propiedades causales en un sentido ontológico fuerte.

Para (Mossio et al., 2013)<sup>57</sup>, el cierre de constricciones supone un régimen causal emergente

---

57 Este capítulo se centra en analizar los argumentos aportados en Mossio et al 2013. Soy consciente de que el concepto de nivel ha sido abordado por estos autores en trabajos posteriores, aunque de forma indirecta (ver (Arnellos & Moreno, 2016); (Arnellos et al., 2014); (Moreno & Suárez, 2020). En estos trabajos se examinan casos concretos de transiciones específicas de individualidad, caracterizando las condiciones que deben estar presentes para la transición evolutiva de un estadio a otro (con especial énfasis en el caso del origen de la vida). Estas transiciones se explican en estos trabajos más recientes aludiendo a una noción de nivel basada en lo que denominan “emergencia ontológica débil”, que creemos que en realidad es

en tanto en cuanto presenta propiedades que son irreducibles a las propiedades de los niveles más básicos, aún cuando estas se deriven de las propiedades de estos niveles. Desde el enfoque de estos autores, el tipo de emergencia observable en el nivel del cierre de constricciones se fundamenta principalmente en la relación entre los componentes de ese nivel:

*Las propiedades emergentes no necesitan ser irreducibles a su base de superveniencia para poseer poderes causales distintivos: lo que importa es que las configuraciones, debido a su relación, posean propiedades irreducibles con respecto a sus subconjuntos, sustrato y entorno (relevante). (...) Por ejemplo, todos los enlaces químicos son configuraciones emergentes sobre sus partes, sustrato y entorno, ya que realizan nuevas relaciones, y por tanto poseen propiedades configuracionales distintivas. Sin embargo, el hecho de que esta definición cubra también casos irrelevantes u obvios es, según argumentamos, el precio a pagar para hacerla compatible con la interpretación constitutiva de las relaciones entre el todo y las partes. En términos más generales, sostenemos que esta caracterización de la emergencia es suficiente para justificar la apelación a poderes causales distintivos e irreducibles en el discurso científico, y específicamente en la biología. La emergencia aparece siempre que los científicos tratan con un sistema, como los biólogos, cuyas propiedades son irreducibles a las de sus partes aisladas, el sustrato y el entorno. En tales casos, hay que introducir nuevos objetos, relaciones y poderes causales, que sólo existen dentro de ese mismo sistema, y no en su base emergente. (Mossio et al., 2013, p. 164)*

Consecuentemente, esta noción “relacional” de emergencia entiende que las configuraciones de elementos en un determinado nivel darían lugar a propiedades que no son ontológicamente

---

emergencia epistemológica (en la línea de (Bich, 2012) y perfectamente compatible con la propuesta reduccionista no eliminacionista que presentamos en este trabajo. Argumentamos que la caracterización teórica de la noción de nivel desde el enfoque organizativo es todavía una tarea pendiente, y que interpretar el nivel como un intervalo de cuasi-descomponibilidad nos permite fundamentar teóricamente una noción de nivel bien desarrollada para el marco teórico organizativo y, al mismo tiempo, esta noción es útil para resolver ciertos malentendidos, como el que se aborda en este trabajo de considerar que el concepto de cierre de constricciones implica la asunción de un emergentismo ontológico.

reducibles a las propiedades de los elementos de niveles más básicos, justificando una interpretación emergentista del cierre: *“constraints are characterized as configurations emerging on, and acting on, specific surroundings Psurr , i.e. a set of physicochemical changes that involve the movement, alteration, consumption, and/or production of entities in conditions away from thermodynamic equilibrium”* (Mossio et al., 2013, p. 165). No obstante, estos autores entienden que estas propiedades emergentes se derivan de las propiedades de los niveles más bajos. La emergencia que defienden Mossio, Bich y Moreno no se basa en una idea de superveniencia, sino de “no reducibilidad”, en concreto, de propiedades las configuracionales (2013, p. 10). La novedad emergente que constituye la irreducibilidad del cierre de constricciones está exclusivamente en la configuración de las constricciones que solamente puede observarse a un determinado nivel.

Una importante consecuencia de esto es que permite hablar de emergencia ontológica sin asumir una causación internivélica. En contra de lo que podría suponerse, el emergentismo ontológico defendido por estos autores no depende de una idea de causación, ni ascendente ni descendente, entre niveles. Además, distinguen dos tipos de causación internivélica: por un lado, habría una variante reflexiva que apela a la influencia del todo en sus partes (Kim la denomina “causación reflexiva” y estos autores llaman “causalidad anidada”). Por otro, habría una causalidad no reflexiva de un todo en las partes de otros todos adyacentes, a la que denominan simplemente “causalidad internivel” (2013, p. 169). Para estos autores, es innecesario hablar de causación en el primer caso y no resulta controvertido aceptar la causalidad en el segundo como un fenómeno obvio.

Así, para Mossio, Bich y Moreno, el cierre de constricciones es un fenómeno emergente pero no en el sentido de “causación reflexiva (anidada)” sino en el sentido de “emergencia biológica”:

*“Abogamos por la idea de que una defensa coherente del cierre como régimen causal emergente e irreductible no necesita invocar la causalidad anidada. Las organizaciones cerradas pueden entenderse en términos de interacciones causales entre (conjuntos de) restricciones mutuamente dependientes, sin implicar acciones causales ascendentes o descendentes entre el todo y las partes. En consecuencia, la emergencia biológica es*

*lógicamente distinta de la causalidad anidada, y se puede defender la primera sin estar comprometido con la segunda”* (Mossio et al., 2013, pp. 176-177)

De esta forma, Mossio, Bich y Moreno defienden que no hay razones ontológicas que justifiquen hablar de causación internivélica reflexiva en biología, pues todo comportamiento biológico se deriva de las propiedades fundamentales de los organismos biológicos y no hay razones para creer que una descripción lo suficientemente completa de las propiedades configuracionales de los elementos básicos de los seres vivos no pueda dar una explicación de todas las propiedades emergentes del nivel del cierre de constricciones<sup>58</sup>. Lo que sí conceden es la pertinencia heurística de asumir, por razones puramente prácticas, que un esquema explicativo que considere la causación internivélica es útil para la práctica de la biología (2013, p. 23).

Así pues, este emergentismo ontológico se sustenta en la asunción de irreducibilidad ontológica de las propiedades del nivel del régimen de cierre de constricciones. En las siguientes secciones argumentamos que esta postura carece de un criterio que permita distinguir niveles más allá de una vaga noción de “niveles de descripción”. Sería conveniente dar una caracterización más detallada de qué criterios se pueden utilizar para constituir estos

---

58 Cabe señalar que estos autores han ido matizando su posición en diferentes trabajos. Así, en (Bich, 2012), se defendía un marco epistemológico para hablar de la emergencia de las organizaciones biológicas. El tipo de emergencia observable en los sistemas vivos era denominado, en línea con las propuestas de (Rosen, 1978), “emergencia compleja” (complex emergence) y hacía referencia a *“both the importance of how the system is organized in different layers—which instantiate distinct and complementary descriptive domains—and the role of the observer who needs to recur to different modalities of description in order to account for them”* (Bich, 2012, p. 228). Para Bich, una descripción de los niveles más bajos no es pertinente para dar cuenta de las propiedades de los niveles más altos, lo que implica una irreducibilidad epistemológica (2012, p. 230). Sin embargo, en Mossio, Bich y Moreno (2013) esta irreducibilidad ha sido reconsiderada ya no en términos epistemológicos, sino heurísticos. Mossio, Bich y Moreno entienden que solamente puede justificarse que las propiedades de un nivel sean epistemológicamente emergentes si es imposible que estas pudieran ser descritas en términos de las propiedades de sus componentes. Este no es el caso de la biología, pues no se han ofrecido razones para creer no es en principio posible dar un enfoque epistemológicamente reduccionista de la complejidad de los niveles superiores de los sistemas biológicos: *“while arguments of ‘inaccessibility have already been formulated in physics (...), this is not the case of biology”* (Mossio et al., 2013, p. 175).

niveles de descripción, sobre todo para mostrar si estos son o no reducibles unos a otros. La descripción de los niveles biológicos como intervalos de cuasi-descomponibilidad, sirve para reforzar el argumento de Mossio, Bich y Moreno acerca del valor meramente heurístico de la causación internivel, pero tiene también la implicación de rechazar el sentido “relacional” de la emergencia que defienden estos autores. Además, la causación internivélica no reflexiva, que Mossio, Bich y Moreno entienden como no problemática, se muestra desde este enfoque simoniano tan carente de fundamento ontológico como la causación reflexiva.

## **9.2 El cierre de constricciones como propiedad de nivel de un ICD**

### **9.2.1 Causación reflexiva ascendente y relación de constitución entre propiedades de nivel**

Desde una interpretación de nivel como ICD no hay lugar para una interpretación ontológica de la noción de causalidad internivélica. Si nos fijamos en primer lugar en la causación ascendente, observamos que las distintas posturas emergentistas tienden a acotar entidades macro (M-entidades) desde un nivel de observación coincidente con ella y de arriba a abajo. Así, por ejemplo, cuando (B. Mclaughlin & Bennett, 2018) definen superveniencia no tienen problema en definir una M-entidad en función de sus componentes micro (m-entidades), afirmando “que no puede haber una diferencia A [macro] sin una diferencia B [micro]”. Esto implica una elección de la M-entidad en función del nivel en el que se sitúa el observador, pero sin atender a un criterio de cuasi-descomponibilidad válido para todos los niveles, lo que condiciona sus elementos componentes, su participación en entidades de orden superior y sus propiedades, que serán las observables a ese nivel. La relación de micro-determinación de entidades es más fuerte que la realización y que la superveniencia, se trata de una relación de mera constitución. Las M-entidades no supervienen de las m-entidades, sino que están constituidas por las m-entidades.

Las M-propiedades son producto de la simplificación de las m-propiedades de sus componentes en función de las metas epistémicas que se presupongan a su estudio. Los intereses del observador determinan, al menos en parte, el criterio de cuasi-descomponibilidad que permite definir el nivel en el que se observan estas propiedades. Esto no significa que los

intereses del observador sean el único factor que importa a la hora de identificar los criterios de cuasi descomponibilidad. Es evidente que la práctica científica debe ser probada para tener éxito, y sus herramientas conceptuales (como la noción de nivel) deben captar de algún modo los aspectos relevantes de los fenómenos a explicar. Sin embargo, estos intereses son decisivos porque están en la base de la propia práctica científica. Por ejemplo, cuando desde la enzimología se analiza el comportamiento de una determinada enzima, se estudian sus propiedades desde la perspectiva de la cinética enzimática. Así, se la caracteriza con un determinado valor de su constante de Menten-Michaelis ( $K_M$ ) que se asocia con una afinidad por su sustrato. Este valor de su afinidad es una M-propiedad elegida subjetivamente que se origina a partir de un conjunto de m-propiedades de los aminoácidos componentes de la enzima. Es más, se caracteriza una enzima promediada de todas las enzimas individuales existentes en la muestra, para cada una de las cuales el concepto de constante carece de sentido. La  $K_M$  se define como la concentración de sustrato necesaria para que una enzima alcance la mitad de su velocidad máxima de reacción.

Pensemos en una enzima como si fuera el *green* de un campo de golf cuyo hoyo es el centro activo. Cuando una bola entra en un hoyo, se divide en dos y es expulsada, todo ello en un instante. Supongamos ahora que llueven bolas de golf. Si el número de bolas es muy bajo, muchos de los agujeros estarán sin ocupar, por lo que el rendimiento total será bajo, aunque cada agujero esté trabajando a 1 bola/segundo. Si aumentamos la cantidad de bolas, aumentará el rendimiento, pero habrá una cantidad a partir de la cual no podrá rendir más porque todos los hoyos están ocupados. Esa es la velocidad máxima y se dice que está saturado. La  $K_M$  es la cantidad de bolas necesarias para que el campo funcione a medio gas. Si los hoyos son grandes y las bolas pequeñas, la probabilidad de que caigan dentro es más alta y la  $K_M$  será menor, si los hoyos son muy parecidos a las bolas, la probabilidad bajará y la  $K_M$  será más alta. Si el campo tiene irregularidades, los hoyos no son redondos y las bolas tienen que entrar de determinada forma, la  $K_M$  será mucho mayor. Por lo tanto, la  $K_M$  es una variable de la sensibilidad mutua entre las enzimas y los sustratos, pero no de forma individual sino colectiva, por lo que, de igual forma que no tiene sentido hablar de la liquidez de una molécula de agua, no tiene sentido hablar de  $K_M$  para una sola enzima. Es una propiedad de nivel, una M-propiedad que se origina a un determinado nivel de observación como resultado

de una simplificación de m-propiedades del nivel previo.

Pero las enzimas tienen muchas más propiedades, algunas descritas por los biólogos y otras ni siquiera analizadas. Sería como describir un león solo por su color. Esta subjetividad provoca la transformación de la identidad en sensación de superveniencia. De esta forma, conforme se ascienden niveles, las simplificaciones y promedios dan lugar a que se hagan agrupaciones de propiedades que parecen las mismas desde un nivel superior de observación, pero son diferentes desde el inferior, lo que origina otra característica de la superveniencia: la realizabilidad múltiple.

La clave está, por tanto, en la individualización de las M-propiedades, en su selección por parte del observador en función de su nivel. Al hacer esta selección, el resultado es consecuencia directa de la actuación del observador<sup>59</sup>. Por lo tanto, todo el conjunto de M-propiedades es la interpretación desde un ICD superior del conjunto de las m-propiedades de sus elementos componentes, si y solamente si, [1] las M-propiedades están presentes siempre que las m-propiedades estén presentes, y [2] las M-propiedades no pueden estar presentes cuando las m-propiedades no lo están. Cuando en el ICD superior se hace una selección de una de las M-propiedades o de un conjunto parcial de éstas, es posible que estas propiedades sean identificadas con otras similares cuyas m-propiedades pueden no ser las mismas. Por ejemplo, dos animales distintos pueden clasificarse según ciertas características elegidas previamente, pudiendo decirse de ellos, por ejemplo, que los dos pertenecen a la categoría "león", aunque se trate de dos individuos distintos. Todas las M-propiedades del león A son la interpretación desde un nivel de observación de todas las m-propiedades de los elementos componentes de este león y, en ese nivel de observación, las M-propiedades del león A y del león B pueden ser idénticas, aún cuando tengan diferencias al nivel inferior de las m-propiedades.

De igual manera, se puede tratar la causalidad, entendida como líneas de mundo con un valor no nulo de una cantidad conservada y de la intersección de éstas formando redes de mundo

---

59 Tampoco estamos defendiendo un antirrealismo con respecto a la noción de nivel. Los niveles como ICD son reales, al menos si adoptamos una perspectiva realista pragmática que reconozca la importancia de los objetivos epistémicos en la determinación de las categorías ontológicas, como el "realismo multiperspectivo" de (Wimsatt, 1994) o el "enfoque pluralista-realista de la ontología" de (Mitchell, 2009).

(Salmon, 1994). Estas redes constituyen un cono causal pasado y futuro (Cáceres & Saborido, 2018, p. 142) en torno a un evento concreto del nivel fundamental. Estas líneas se difuminan y los nodos se engrosan conforme ascendemos niveles, de forma que las entidades-sistema de los M-niveles solo muestran M-causalidad, tan simplificada y basada en sus componentes como las propias entidades-sistema o sus propiedades, y, por los mismos motivos, no puede hablarse de poderes causales en los niveles superiores, sino como meramente aparentes. Por ejemplo, cuando observamos desde una perspectiva sencilla el reflejo rotuliano, simplemente decimos “al golpear la rodilla bajo la rótula, la pierna se estira involuntariamente”. La causa y la consecuencia son evidentes y claramente distinguibles. Si descendemos niveles, vemos que la línea de causalidad no es un trazo fino, y que donde parecía un solo nexo, hay varios. Fijémonos en el primer paso, el de la recepción del estímulo. La zona golpeada tiene multitud de receptores de frío, de calor, de dolor y mecánicos. Todos ellos están conectados mediante determinadas fibras nerviosas con sus dianas. Transmiten el impulso con diferente velocidad según su grosor y mielinización y se clasifican en seis tipos. Según la combinación de receptores y fibras se transmiten las sensaciones de dolor punzante, calor, frío, cosquillas, presión, vibración, etc. Sus funciones motoras también son variadas: musculo-esquelética, muscular y simpática. El trazo grueso de causalidad directamente elimina casi todo lo subyacente, como el calor o el frío, la vibración y las cosquillas y se centra solo en el resultado de los receptores de huso muscular con sus fibras Ia que son las responsables últimas del arranque del reflejo. Pero incluso esa línea más fina de la causalidad, es susceptible de ser vista de cerca y ver como se eliminan múltiples líneas (número de receptores y profundidad, número de fibras no afectadas, etc.). Podríamos incluso seguir bajando de nivel (polarización-despolarización de las membranas, canales de sodio, gradientes...) y ver que no solo cada línea de causalidad engrosada oculta múltiples líneas, sino que engloba varios nodos causales que son “resumidos” en función del nivel del análisis. La causalidad última estaría solo en el nivel fundamental y sería solamente aparente al ascender niveles.

### **9.2.2 Causación descendente reflexiva y simplificación explicativa**

Una vez analizada la micro-determinación, o la aparente causación descendente, desde este

enfoque de niveles entendidos como ICD, podemos pasar a analizar la relación inversa, la macro-determinación. La causación descendente, es decir, la influencia causal entre un nivel superior y uno inferior, es uno de los cuatro pilares clásicos de la emergencia, considerado ya desde los emergentistas británicos, si no antes (Spaulding, 1918, pp. 450-451) y resulta clave para la emergencia, como señaló Kim al considerarla la *raison d'être* de la emergencia (Kim, 2006, p. 548).

No obstante, la idea de causación descendente conlleva el problema de la interacción entre entidades de distinto nivel. Pensemos en una enzima que une un sustrato y lo divide en dos, como puede ser la lactasa que hidroliza el disacárido lactosa en los monosacáridos glucosa y galactosa. A pesar de que nos refiramos a la reacción en estos términos, el contacto entre los elementos intervinientes no es de esta forma. La lactasa no contacta con la lactosa, sino que son dos ácidos glutámico, el Glu-1538 y el Glu-1749 (UniProt, 2020) de los 1927, de la proteína los que contactan con la lactosa, el primero como donante de protones y el segundo como nucleófilo. Es más, es el oxígeno del hidroxilo ionizado del grupo carboxílico del Glu-1749 el que interacciona con el oxígeno del enlace  $\beta$  (1  $\rightarrow$  4) O-glucosídico de la glucosa y la galactosa. Más exactamente, lo que ocurre es un desplazamiento del par de electrones compartidos del oxígeno del enlace  $\beta$  por parte del par de electrones sin compartir<sup>60</sup> del citado oxígeno del Glu-1749. El resto de la enzima hace otras cosas: se ancla a la membrana celular del borde de cepillo de los enterocitos del endotelio intestinal (restos 1883-1901), forma un dominio topológico citoplasmático (restos 1902-1927) y el resto forma una estructura multidominio en la luz intestinal (Diekmann et al., 2017) que, además de la lactosa, hidroliza celobiosa, glicosil- $\beta$ -ceramidas y varios aril- $\beta$ -glucósidos, como la clorizina y los nitro-fenil- $\beta$ -glicosidos, pero en un centro activo diferente (Glu-1065 y Glu-1273) (UniProt, 2020) aunque prácticamente idéntico (Zecca et al., 1998). Por tanto, es una cuestión de simplificación explicativa la que hace escalar niveles y hablar de contacto entre elementos de tamaño tan distinto<sup>61</sup>. La forma habitual de referirse a la relación entre estructura y función al

---

60 Los elementos que tienen un par de electrones sin compartir son susceptibles de producir ataques nucleófilos debido a su configuración electrónica, algo que se debe en última instancia a su número de protones y por tanto, al hecho de ser ese elemento y no otro.

61 Para hacerse una idea de la diferencia de tamaño entre los elementos intervinientes en la reacción, esto es el

hablar de las enzimas sería aquella que las vincula de arriba a abajo, es decir, afirmar que la parte depende del todo. La actividad de la lactasa<sup>62</sup>, esto es del Glu-1749, depende de la M-estructura de la enzima completa. Sin embargo, el problema vuelve a ser una excesiva simplificación explicativa que da lugar a un cruce de niveles. La M-estructura (la lactosa) es la m-estructura (secuencia de los 1926 aminoácidos), solo que descrita en distintos niveles. Consecuentemente, podemos hacer también un análisis de la enzima del ejemplo anterior a partir de una observación de algunos de sus posibles efectos a nivel de organismo. Desde la fisiopatología, se denomina intolerancia a la lactosa (IL) a un síndrome clínico caracterizado por la presencia de algunos de los siguientes síntomas: dolor abdominal, diarrea, náuseas, flatulencia y/o meteorismo, en relación a la ingesta de lactosa (Alliende & col, 2007, p. 152). En todos los mamíferos la lactasa es una enzima que se produce desde el nacimiento y durante la lactancia, disminuyendo tras el destete su producción al 10% de su máximo. Sin embargo, en algunos grupos humanos se produce una excepción al mantenerse durante el resto de su vida una alta producción de lactasa. Esto se debe a la selección darwinista llevada a cabo sobre el gen MCM6 que regula el fin de la expresión del gen de la lactasa, haciendo que se prolongue a lo largo de la vida su producción y por lo tanto la capacidad digestiva de la leche (Harvey et al., 1996, p. 135). No obstante, se estima que el 70% de la población mundial no sufre esta excepción y muestra intolerancia primaria a la lactosa. Así, estas personas sin suficiente lactasa intestinal no digerirán correctamente la leche, de forma que la lactosa alcanzará el colon donde las bacterias colónicas la metabolizarán produciendo metano, hidrógeno y otros gases que dan lugar a la sintomatología descrita.

Esta descripción de la intolerancia primaria muestra un cruce de niveles que van desde la actividad propia de la enzima a nivel electrónico hasta el nivel de organismo de la persona que bebe la leche e incluso las poblaciones de intolerantes, desde una perspectiva causal. Esta puede ser ascendente, la alteración del gen regulador es la causa del síndrome, o descendente, el que persona con intolerancia beba leche produce gases intestinales. A nivel superior,

---

agua y lactosa respecto a la enzima lactasa baste decir que así como el agua pesa 18 g/mol y el azúcar 342,30 g/mol la enzima pesa 218.587 g/mol, es decir, 12.143 veces más pesada que el agua y 735 veces más que la lactosa.

62 Para simplificar, vamos a dejar la actividad clorozinasa al margen.

tenemos en  $t_0$  una persona intolerante a la lactosa, en  $t_1$  una persona intolerante que bebe leche y en  $t_2$  una persona intolerante con una sintomatología. Conforme nos acercamos a este trazo grueso vemos que está formado por trazos más finos, a su vez formados por trazos más finos, en el que hay muchos nodos causales que ocultan más nodos causales. La persona entre  $t_0$  es un conjunto de moléculas determinado que sufre muchos cambios causales en una línea de tiempo  $t_0 \dots t_n$  antes de llegar a  $t_0$ . Al mirar asincrónicamente los niveles, percibimos una falsa sensación de causalidad internivel, bien ascendente, bien descendente. Así, una persona al beber leche (macro) provoca que sus bacterias intestinales produzcan metano (micro) lo cual le provoca a esta misma persona los incómodos síntomas de la intolerancia a la lactosa (macro nuevamente).

### 9.2.3 Causación internivel no reflexiva e individualidad

Por otro lado, cabe decir que, a pesar de que Mossio, Bich y Moreno la consideren “no controvertida” una interpretación de los niveles como ICD también conlleva rechazar la causación internivélica no reflexiva. No es posible hacer una justificación ontológica entre M-entidades y m-entidades basadas en la influencia del entorno, al no poder descomponer de forma absoluta la materia, tal y como hace (Kirchhoff, 2014, p. 100) al referirse a la formación de células de Bénard, o en m-entidades imposibles de tener en cuenta como hace el mismo Kirchhoff (2014, pp. 103-104) al referirse al agua como un compendio imposible de determinar de átomos de hidrógeno o deuterio o de p-hidrógeno y o-hidrógeno<sup>63</sup>.

La causación no reflexiva, en la que un todo influye causalmente en las partes de otro todo adyacente, se basa en la asunción de que la distinción entre entidades distintas es evidente y aproblemática. Sin embargo, no parece que sea evidente que un nivel se pueda descomponer totalmente en entidades ontológicamente diferentes. Así, en el ejemplo clásico de las células de Bénard, desde la cuasi-descomponibilidad, no resulta posible distinguir completamente entre celdas adyacentes y, por lo tanto, no podemos afirmar que la forma macro de una de ellas influye en los componentes micro de la celda de al lado.

---

63 Los prefijos orto (o-) y para (p-) indican si los espines de los electrones son, respectivamente, paralelos o antiparalelos, esto da pie, por ejemplo, al p-hidrógeno y al o-hidrógeno, isómeros de espín de la molécula de  $H_2$ , y al o-agua y p-agua, isómeros de espín de la molécula de  $H_2O$ .

Del mismo modo que la distinción entre niveles depende en último término del criterio  $\epsilon$  asumido por el observador a partir de sus intereses investigativos, la distinción del continuo material entre distintas entidades también depende de los criterios en que se asuman y que dan lugar a una cuasi-descomposición entre diferentes sistemas cuyas relaciones causales serán también, consecuentemente, dependientes del observador. Esto no implica que las entidades o sistemas no sean reales (véase la nota la pie 60), ni siquiera que no haya formas más correctas o útiles de dar cuenta de las mismas, sino que únicamente pueden distinguirse diferentes entidades-sistema de límites difusos, lo que elimina la razón de base para la distinción entre las formas reflexiva y no reflexiva. Es más, esta imposibilidad de distinguir entre entidades abre una línea de investigación acerca de la individualidad que merece ser desarrollada en el futuro.

### **9.3 Un enfoque reduccionista del cierre de constricciones**

Tras lo dicho, podemos reconsiderar ahora si es necesario entender el cierre de constricciones como un régimen emergente de causalidad. Para Mossio, Bich y Moreno, el nivel del cierre organizacional es un nivel emergente no porque las propiedades de este nivel sean supervenientes de las de los niveles inferiores (estos autores niegan esta posibilidad), sino porque estas propiedades son irreducibles a las propiedades de niveles más básicos. Esta irreducibilidad es la razón que justifica, en su opinión, la consideración del nivel de cierre de constricciones como ontológica y epistemológicamente emergente<sup>64</sup>. Sin embargo, esta justificación de la emergencia no se basa realmente en cuestiones ontológicas. Es posible argumentar que, una vez descartadas las razones ontológicas para la causación internivel, tampoco está fundamentada la irreducibilidad de un régimen de causalidad más que desde un punto de vista meramente epistemológico o heurístico.

Si la relación entre niveles es de constitución, entonces los niveles inferiores y superiores están en último término constituidos por las mismas entidades y solamente son descritos de forma distinta por cuestiones dependientes de los intereses epistémicos del investigador. Todas las propiedades configuracionales que se observan en el nivel superior también están

---

64 Para una argumentación detallada de esta diferencia entre superveniencia e irreducibilidad, véase (Mossio, Bich y Moreno 2013, p. 7-11).

presentes en los niveles más básicos. Es decir, el cierre organizacional de constricciones se da también a todos los niveles, incluido el más fundamental. La razón por la que se defiende que las propiedades del cierre de constricciones no son reducibles a las de las propiedades de entidades observables a niveles más bajos y que es por lo tanto necesario “introducir nuevos objetos, relaciones y poderes causales” (Mossio et al., 2013, p. 164) no son ontológicas y ni tan siquiera epistemológicas, por las mismas razones que la asunción de causación internivélica no tiene fundamentación ontológica ni epistemológica.

La partición de la realidad en un nivel ICD que distingue un conjunto determinado de partes, propiedades y condiciones de entorno relevantes es una decisión dependiente del observador que se hace en relación a un criterio de cuasi-descomponibilidad elegido por razones heurísticas. En el caso de la biología, esta razón heurística puede ser identificar relaciones configuracionales relevantes entre los elementos de un sistema, las cuales pueden ser observadas mejor desde cierto nivel. Este es el caso del cierre de constricciones. Las relaciones de causalidad entre las constricciones no emergen en un determinado nivel de observación sino que están determinadas por las propiedades de los elementos que configuran el sistema y que, en principio, serían describibles también en los niveles más fundamentales. La idea de organización funciona como un principio explicativo, es decir, como una guía heurística que permite ofrecer un criterio de cuasi-descomponibilidad tanto entre niveles de un mismo sistema como entre un sistema y su entorno. No hay un régimen emergente de causalidad en el cierre de constricciones en un sentido ontológico ni epistemológico, pues los elementos que constituyen el cierre son los mismos que constituirían otros niveles más básicos que fueran elegidos en relación a diferentes ICD. Mossio, Bich y Moreno nos dicen que “*all chemical bonds are configurations emergent on their parts, substrate and surroundings, since they realize new relations, and therefore possess distinctive configurational properties*” (Mossio et al., 2013, p. 11). Sin embargo, tal y como muestra la caracterización de nivel como ICD, los enlaces químicos son describibles a todos los niveles. Todas las propiedades de los elementos de un nivel están presentes también en niveles más fundamentales, incluidas las propiedades configuracionales. Y lo mismo ocurre con las “condiciones de entorno relevantes”. La partición de la realidad que permite distinguir los componentes de un sistema organizacionalmente cerrado de los componentes de otro distinto

(las “condiciones de entorno”) es también una decisión dependiente del observador, el cual elige el criterio para diferenciar ICD, y con ello entidades individuales, por razones heurísticas.



## 10 Conclusiones.

Al ser esta una tesis cuyos resultados ya han sido publicados en artículos, las conclusiones se pueden exponer de dos formas diferentes: por una parte, aquellas derivadas de cada uno de ellos y por otro unas conclusiones globales a la tesis central subyacente a la investigación como un todo. Las primeras están presentes en cada uno de los textos que se incluyen en la segunda parte de la tesis, las generales las desarrollo a continuación.

Todo el desarrollo de esta tesis doctoral emana, como ya apunté en la introducción, de la búsqueda de la armonía subyacente a la melodía biológica. Como primera aproximación, mi trabajo de fin de máster ya apuntó en la dirección que se ha desarrollado esta investigación. Como biólogo antes que fraile se me hacía difícil localizar ese *algo más* que incluye el aforismo fundamental de la emergencia. El desarrollo del TFM me planteó más preguntas que respuestas, algo que aprendí a tratar como base de la investigación filosófica y me dio pie a continuar avanzando en busca de una *solución*. Es obvio, aunque me costó asumirlo, que en un campo como el nuestro tal cosa como *respuesta* o *solución* no existen como se entienden desde la biología y las demás ciencias, pero tras estos años de dedicación puede decir que he llegado a una posible respuesta que *a mi* me sirve, sin sentirla forzada ni sentirme un falso “converso”.

La defensa del TFM con Julio César Armero, Cristian Saborido y Álvaro Martínez del Pozo me llevó a profundizar en el concepto de la emergencia. La idea de Cristian acerca de como llevar a cabo el primer artículo fue clave para su desarrollo: buscar las claves de la emergencia e intentar explicarlas desde otro punto de vista. Mi punto de vista. La primera parte fue claramente de indagación.

El citado artículo de Klee (1984) y la localización de los cuatro pilares de la emergencia dieron paso a retroceder en el tiempo hasta llegar al origen de dichos pilares. La idea de fondo de las propiedades emergentes, la imposibilidad de llegar a los *todos* desde sus *partes* podía tanto ser considerarse ubicua, como decían ya a principios del siglo XX filósofos como Charles Baylis (1929), o ser criticada, como también hicieron en ese primer cuarto del siglo XX otros autores como Stephen (Pepper, 1926) quién intentó dilucidar si las propiedades emergentes eran algo especial o meros epifenómenos.

Con el tiempo, la investigación me llevó a ver como Stuart Mill empieza hablando de la novedad genuina y la impredecibilidad en sus leyes heteropáticas; como Lewes acuña el término emergencia y lo saca del mundo de la química resaltando la genuinidad, sobre todo en lo relativo a la biología y a la idea de mente y como Spaulding habla de la relación parte todo estableciendo el primer contacto con la causación descendente y haciendo referencia a esta relación como la clave en el concepto de emergencia, así como distingue entre los todos orgánicos de los demás diferencia que sitúa precisamente en la existencia de propiedades emergentes y de la realizabilidad múltiple. Igualmente llegué a ver cómo los emergentistas británicos usaron la emergencia para sus fines filosóficos, al igual que se sigue haciendo hoy en día. Así, Morgan la utilizó para crear una teoría de la evolución que prescindía del gradualismo darwiniano haciendo hincapié en la genuinidad de las novedades emergidas y en la necesidad de un análisis *top-down* previo a un *bottom up* y en la importancia de las relaciones para eliminar la agencia causal; Alexander considera el espacio-tiempo como el componente fundamental de todo lo existente y Broad formaliza la emergencia e intenta conjugar eliminar el problema del vitalismo apoyándose en esta teoría.

El primer trabajo, tras la descripción y análisis histórico de los cuatro pilares de la emergencia –impredecibilidad, novedad, restricción y causalidad descendente– llegaba el momento de explicar dichos pilares sin recurrir al *algo más*. Y este fue un momento difícil porque tenía la intuición, pero no la herramienta. Era necesario dar con algún aspecto subyacente a los cuatro pilares, algún elemento de cimentación sobre el cual se instalan los pilares y yo lo identifiqué en los niveles de organización de la materia que, como hemos visto, forman parte del concepto desde su primer desarrollo formal. Y ha sido desde ahí desde donde he buscado mi solución.

Mi investigación sobre los niveles me llevaron a Herbert Simon y su *Arquitectura de la Complejidad* donde entré en contacto con la idea de cuasi-descomponibilidad ¿Cómo era posible establecer una diferencia entre sistemas descomponibles y cuasi-descomponibles? En mi opinión, y como he desarrollado en los diferentes artículos, no es posible. No hay ningún criterio definitivo que permita decidir desde donde y hasta donde llega un nivel sino que emanan de la posición del observador y de la investigación top-down. Ante esta falta de concreción, el continuo material solo se puede casi descomponer. Tras esto, establecí la cuasi-descomponibilidad como la herramienta con la que podía tratar de refutar los pilares establecidos por Klee como fundamentales para la emergencia.

Esta ampliación de la cuasi-descomponibilidad de Simon y la idea de identidad entre niveles me ha permitido establecer la idea de nivel de estudio y a definir la ciencia encargada de ellos en función del interés investigador. Por tanto se puede tratar la emergencia como una noción con valor *exclusivamente* heurístico. De esta manera, para un fin eminentemente práctico, bastaría con el establecimiento de leyes fenomenológicas, para lo cual estudiaríamos exclusivamente el *nivel de nuestro interés*, tratándolo como una caja negra, tomando únicamente las entradas y salidas de las variables escogidas y estableciendo leyes-modelo de ese nivel. Sin embargo, si además pretendemos *explicar* dichos fenómenos, resulta necesario indagar en los niveles subyacentes, lo que conlleva abrir esas cajas. La ventaja derivada del conocimiento de los niveles superiores facilita la elección de las variables para establecer un modelo, y por consiguiente establecer mejor las leyes-modelo de ese nivel.

Para satisfacer la necesidad de explicación, es decir, para aclarar cómo funciona un sistema formado por niveles de subsistemas anidados, resulta útil y aclaratorio recurrir a un tipo de explicación que trate a sus elementos *como* componentes mecánicos que interaccionan entre sí lo que me llevó al concepto de *mecanosistema* que sigue necesitando un posicionamiento en un nivel. Los mecanosistemas son sistemas determinados por el nivel de observación, y por lo tanto ubicados en un intervalo de cuasi-descomponibilidad cuyas propiedades están simplificadas en función, entre otras cosas, del propio nivel y del interés del investigador. Por tanto, un mecanosistema consiste en un conjunto de cajas que una ciencia encuentra al abrir la caja de su nivel y las relaciones establecidas entre ellas en base a sus propiedades. Estas cajas están delimitadas por el criterio de cuasi-descomponibilidad inmediatamente inferior

demarcado por la ciencia en cuestión. Estos mecosistemas tendrán a su vez sub-mecosistemas, cajas dentro de las cajas, que podrán abrirse para analizar su interior, recursivamente hasta llegar al nivel F. Igualmente, el sistema desde el cual partíamos será a su vez una caja dentro de otras que forman la caja M.

El uso de mecosistemas como recurso explicativo tiene varios aspectos a desarrollar que he ido desglosando a lo largo de los diferentes artículos: la naturaleza de sus componentes, sus límites, el grado de simplificación, la asunción de pérdidas, su representación, etc. Era necesaria una comparación con la explicación mecanística, para lo cual he analizado los aspectos más significativos del denominado nuevo mecanicismo y he presentado un enfoque que introduce un aspecto clave que no se sino el criterio de cuasi-descomponibilidad como razón para la compartimentación de la materia en niveles, que si bien permite elegir heurísticamente dichas divisiones, lo hace basándose en criterios que emanan de las propiedades de los elementos fundamentales de la materia.

Creo que puede afirmarse que estos criterios favorecen una elección de niveles arbitraria pero no caprichosa, lo que permite mantener una visión de la naturaleza como un continuo con la visión científica tradicional de que es posible distinguir niveles anidados. Además, lo hace sin tener que recurrir a propiedades emergentes como complemento a la explicación mecanística.

Por tanto, considerar que los niveles explicativos se corresponden con los intervalos de cuasi-descomponibilidad permite elaborar una perspectiva sistémica de la explicación mecanística que propone la idea de mecosistema como elemento central de la misma. La caracterización de los sistemas como entidades con mecosistemas anidados conlleva una nueva interpretación de la causalidad inter e intranivélica y de la relación inter e intrasistémica, tal y como queda de manifiesto cuando observamos con detalle la relación entre la bacteria y el coronel. Así, en un mundo cuasi-descomponible en el que la relación entre M-entidades y m-entidades es de mera constitución, las propiedades aparentemente emergentes son en realidad propiedades de nivel derivadas de una elección tomada por razones heurísticas para contribuir a la investigación del continuo material. Los niveles no serían sino el resultado de la simplificación anidada de las propiedades de los componentes de

un sistema que se desea investigar.

Respecto a la causalidad, hemos visto como las líneas de mundo se difuminan conforme ascendemos niveles siendo siempre reducibles a las del nivel fundamental, por lo que las M-entidades, como entidades-sistema, no tienen poderes causales propios, sino que son efectos derivados de las propiedades de sus componentes. Las relaciones de causalidad se dan exclusivamente en un mismo nivel. La causación descendente y la ascendente no son sino el resultado de un análisis cruzado y asíncrono de los niveles. El único tipo de relación que se da entre niveles es de constitución e identidad. Además, la distinción entre una causación reflexiva (entre un todo y sus partes) y una no reflexiva (un todo con las partes de otros todos adyacentes) queda anulada ante la imposibilidad de establecer distinciones ontológicamente tajantes (totalmente descomponibles) entre entidades.

Como he apuntado a lo largo del texto, en el extremo opuesto al mecanicismo, dentro de las formas explicativas que asumen la emergencia podemos encontrar las distintas variantes que hacen alusión a la auto-organización. Entre ellas, me he centrado en la perspectiva organizacional que hace del cierre de constricciones su aspecto central. Tras analizar los aspectos fundamentales en los que se basa este cierre podemos llegar a la siguiente conclusión: es posible explicar las constricciones como entidades-sistema asociadas a un determinado nivel de observación con unas propiedades de nivel resultantes de las de sus componentes debido a la simplificación llevada a cabo en el re-escalado de niveles. Además, no es posible tampoco justificar la causación internivel no reflexiva, esencial en esta postura, pues no es posible establecer un criterio objetivo indiscutible para descomponer el continuo material y, por consiguiente, la distinción entre entidades distintas es siempre algo que depende de los intereses del observador. Esto implica no solo renunciar a la causación internivélica reflexiva (como ya habían defendido los postulantes del cierre de constricciones) y a la no reflexiva (esencial en dicha postura), sino también rechazar toda interpretación emergentista ontológica del cierre de constricciones. Al contrario de lo que defienden sus teóricos, es posible ofrecer un enfoque reduccionista del cierre organizacional que entienda que las propiedades relacionales observables en el nivel de las constricciones están ya presentes en todos los niveles más básicos, pues la relación entre estos niveles es de identidad. Esto no implica tener que adoptar un enfoque eliminativista que renuncie a la pertinencia de

distinguir niveles en biología.

La descripción de un ICD, especialmente de aquellos en los que pueden observarse comportamientos tan centrales como el auto-mantenimiento biológico, se corresponde con la elección de un intervalo de cuasi-descomponibilidad que se adopta por razones heurísticas y es una estrategia científica con una utilidad indiscutible para comprender e intervenir en los seres biológicos y sus organizaciones. El cierre organizacional sería, por lo tanto, resultado de una descripción de un tipo concreto de mecanosistema, que es ontológica y epistemológicamente reducible a sus componentes, pero con una valiosa capacidad explicativa, lo que conlleva implicaciones muy notables para la caracterización de conceptos clave como la individualidad y la causación.

En definitiva, las propiedades emergentes son explicables sin tener que recurrir a ese *algo más* y son el mero resultado de las propiedades de sus componentes y fruto de la simplificación voluntaria e involuntaria en la escalada de niveles. Asumiendo esto, no es posible hacer una reducción teórica nageliana, pues las leyes elaboradas en los distintos niveles son inexactas al estar basadas en datos parciales. Por tanto, no se pueden reducir las unas a las otras. Por último vale la pena remarcar la necesidad de establecer dos líneas de investigación diferentes. Por una parte, la necesidad de resultados prácticos inmediatos da pie a no descender demasiados niveles y a centrar la búsqueda de resultados en la evidencia. Por otra parte, el hecho de entender los mecanismos últimos de los fenómenos (entendidos como lo hace la ciencia) nos ayuda a afinar los resultados evitando efectos indeseados originados en el tratamiento fenomenológico del problema, algo demasiado frecuente, por ejemplo, en la medicina. Por lo tanto, a pesar de esta practicidad, no hay que renunciar al descenso en busca de la explicación en el nivel F a pesar de que dicha investigación sea asintótica.

Ahora, mi cerebro “de ciencias” se ha hecho adulto y ha alcanzado el *bobesponjiano* gusto por el jazz.

LOS TODOS SOLO SON LA SUMA DE SUS PARTES



## 11 Lista de Figuras.

Figura 1: Niveles de Morgan. Extraído de (Blitz, 1992, p. 104)

Figura 2: Niveles de Morgan. Extraído de (Blitz, 1992, p. 116)

Figura 3: "Tentativa" de niveles de organización de William Wimsatt (1976)

Figura 4: Representación de una casa de Simon. Elaboración propia

Figura 5: Representación de una casa de Simon ampliada. Elaboración propia

Figura 6: Niveles de organización como intervalos de cuasi-descomponibilidad. Elaboración propia

Figura 7: Niveles y ciencias especiales. Elaboración propia

Figura 8: Macro-causalidad, micro-causalidad y causación internivel aparente. Elaboración propia

Figura 9: Causalidad cruzada y volutas causales. Elaboración propia.

Figura 10: Líneas de mundo y trazos de mundo. Elaboración propia

Figura 11: Cono causal. Elaboración propia

Figura 12: Principio de inervación recíproca. Modificación a partir de imagen libre de derechos.

Figura 13: Relación entre la toxina tetánica y la muerte del coronel en función del nivel elegido.  
Elaboración propia



## 12 Bibliografía.

- Alegre-Cebollada, J., Kosuri, P., Feng, J., Kaplan, A., Inglés-Prieto, A., Badilla, C. L., Stockwell, J. M., Holmgren, A., Fernández, Julio M., & Sánchez-Ruiz, B. R. (2012). Protein Folding Drives Disulfide Formation. *Cell*, 151, 794-806.
- Alexander, S. (1920). *Space, Time, and Deity. Vol 2.* Mcmillan.
- Alliende, F., & col. (2007). Intolerancia a la lactosa y otros disacáridos. *Gastr Latinoam*, 18(supl 2), 152-156.
- Álvaro-González, L. C. (2014). Neuroética (I): Circuitos morales en el cerebro normal. *Revista de Neurología*, 58(5), 225-233.
- Anderson, C. (2002). Self-organization in relation to several similar concepts: Are the boundaries to self-organization indistinct? *The Biological Bulletin*, 202(3), 247-255.
- Ardila, G. P., Pimentel, J. O. A., & Peña, C. L. S. (2005). Aprendizaje basado en problemas: Tétanos. *REVISTA SALUD UIS*, 37(3).
- Arnellos, A., & Moreno, Á. (2016). How functional differentiation originated in prebiotic evolution. *Ludus Vitalis*, 20(37), 1-23.
- Arnellos, A., Moreno, A., & Ruiz-Mirazo, K. (2014). Organizational requirements for multicellular autonomy: Insights from a comparative case study. *Biology & Philosophy*, 29(6), 851-884.
- Atkins, P. (2003). *El dedo de Galileo. Las diez grandes ideas de la ciencia* (E. Calpe, Ed.).
- Atkins, P. W. (1995). *Cómo crear el mundo* (E. Crítica, Ed.).
- Barberis, S. (2012). Un análisis crítico de la concepción mecanicista de la explicación. *Revista Latinoamericana de Filosofía*, Vol. XXXVIII(2).
- Baylis, C. A. (1929). The Philosophic Functions of Emergence. *The Philosophical Review*, 38(4), 372-

384.

- Bechtel, W., & Abrahamsen, A. (2005). Explanation: A mechanist alternative. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36(2), 421-441.
- Bechtel, W., & Richardson, R. C. (1993). *Discovering complexity: Decomposition and localization as scientific research strategies*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Bertalanffy, L. von. (1976). *Teoría general de los sistemas* (F. de C. Económica, Ed.).
- Bich, L. (2012). Complex emergence and the living organization: An epistemological framework for biology. *Synthese*, 185(2), 215-232.
- Blitz, D. (1992). *Emergent Evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality*. Springer-Science + Business Media, B.V.
- Bowler, P. B. (1998). *Historia Fontana de las ciencias ambientales* (F. de C. Económica, Ed.).
- Broad, C. D. (1925). *The Mind and Its Place in Nature*. Routledge.
- Brooks, D. S. (2017). In defense of levels: Layer cakes and guilt by association. *Biological Theory*, 12(3), 142-156.
- Bunge, M. (1973). La metafísica, epistemología y metodología de los niveles. En L. Law Whyte, A. G. Wilson, & D. Wilson (Eds.), *Las estructuras jerárquicas*. Alianza Universidad.
- Bunge, M. (2004). *Emergencia y convergencia*. Gedisa.
- Cáceres, E. (2019). Intervals of quasi-decompositionality and mechanistic explanations. *Quaderns de filosofia*, 6(1), 15-27.
- Cáceres, E. (2022). Los pilares de la emergencia. El origen de los fundamentos teóricos del emergentismo. *Endoxa*, Aceptado para publicación.
- Cáceres, E., & Saborido, C. (2017). Intervalos de cuasi-descomponibilidad y propiedades emergentes. *Theoría*, 32(1), 89-108.
- Cáceres, E., & Saborido, C. (2018). ¿Realmente mató la bacteria al coronel?: Perspectiva sistémica, causación internivélica e intervalos de cuasi-descomponibilidad en las explicaciones mecanísticas. *Theoria. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, 33(1), 129-148.
- Campbell, D. T. (1974). Downward Causation in Hierarchically Organized Biological Systems. in F. Ayala, and T. Dobzhansky (eds.), *Studies in the Philosophy of Biology*, Berkeley, University of California Press, 179-186.
- Cartwright, N. (1994). *Nature's Capacities and their Measurement*. Clarendon Press. Oxford.

- Churchland, P. M. (2001). Hacia una neurobiología de las virtudes morales. *Contrastes, Revista internacional de Filosofía, Sup.6*, 291-317.
- Churchland, P. S. (2012). *El cerebro moral. Lo que la neurociencia nos cuenta sobre la moralidad*. Paidós.
- Churchland, P. S., & Sejnowski, T. S. (1988). Perspectives on cognitive neuroscience. *Science*, 242(4879), 741-745.
- Craver, C. F. (2001). Role functions, mechanisms, and hierarchy. *Philosophy of science*, 68(1), 53-74.
- Craver, C. F. (2006). When mechanistic models explain. *Synthese*, 153, 355-376.
- Craver, C. F. (2007). *Explaining the brain: Mechanisms and the mosaic unity of neuroscience*. Oxford University Press.
- Craver, C. F. (2013). Functions and mechanisms: A perspectivalist view. En *Functions: Selection and mechanisms* (pp. 133-158). Springer.
- Craver, C. F., & Bechtel, W. (2007). Top-Down causation without top-down causes. *Biology and Philosophy*, 22, 547-563.
- Cuevas-Velázquez, C. L., & Covarrubias-Robles, A. A. (2011). Las proteínas desordenadas y su función: Una nueva forma de ver la estructura de las proteínas y la respuesta de las plantas al estrés. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 14(2), 97-105.
- Darwin, C. (1859). *El origen de las especies* (A. Bolsillo, Ed.).
- Darwin, C. (1871). *El origen del hombre. Volumen I: Vol. I* (E. Libros, Ed.).
- Dawkins, R. (2002). *El gen egoísta* (S. Editores, Ed.).
- Diekmann, L., Behrendt, M., Amiri, M., & Naim, H. Y. (2017). Structural determinants for transport of lactase phlorizin-hydrolase in the early secretory pathway as a multi-domain membrane glycoprotein. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1861(1), 3119-3128.
- Dirac, P. A. (1929). Quantum mechanics of many-electron systems. *Proceedings of the Royal Society of London A*, 123, 714-733.
- Dowe, P. (2000). *Physical Causation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dupré, J. (2013). Living Causes. *Aristotelian Society Supplementary Volume*, 87, 19-37.
- Eronen, M. I. (2015). Levels of organization: A deflationary account. *Biology & Philosophy*, 30(1), 39-58.
- Eronen, M. I., & Brooks, D. S. (2018). Levels of Organization in Biology. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2018). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/levels-org-biology/>

- Fredericks, D., & Relman, D. A. (1996). Sequence-based identification of microbial pathogens: A reconsideration of Koch's postulates. *Clinical microbiology reviews*, 9(1), 18-33.
- Garson, J. (2013). The Functional Sense of Mechanism. *Philosophy of science*, 80(3), 317-333.
- Gillett, C. (2016). *Reduction and emergence in science and philosophy*. Cambridge University Press.
- Gillies, D. A. (2016). *Establishing Causality in Medicine and Koch's Postulates*.
- Glennan, S. (1996). Mechanisms and the Nature of Causation. *Erkenntnis*, 44, 49-71.
- Glennan, S. (2002). Rethinking mechanisms explanation. *Philosophy of Science*, 69, S342-S353.
- Glennan, S. (2008). Mechanism. En S. Psillos & M. Curd (Eds.), *The Routledge companion to philosophy of science* (pp. 376-384). Routledge.
- Gould, S. J. (2007). *Ocho cerditos* (D. Bolsillo2007, Ed.).
- Gradmann, C. (2014). A spirit of scientific rigour: Koch's postulates in twentieth-century medicine. *Microbes and infection*, 16(11), 885-892.
- Haeckel, E. (1892). Our Monism: The Principles of a Consistent, Unitary World-View. *Monist*, 4, 481-486.
- Harvey, C. B., Wang, Y., Darmoul, D., Phillips, A., Mantei, N., & Swallow, D. M. (1996). Characterisation of a human homologue of a yeast cell division cycle gene, MCM6, located adjacent to the 5' end of the lactase gene on chromosome 2q21. *FEBS letters*, 398(2-3), 135-140.
- Hauser, M. D. (2008). *La mente moral. Como la naturaleza ha desarrollado nuestro sentido del bien y del mal* (E. Paidós, Ed.).
- Hedström, P., & Ylikoski, P. (2010). Causal mechanisms in the social sciences. *Annual review of sociology*, 36, 49-67.
- Hervás, M., & Navarro, J. A. (2011). Transferencia electrónica al fotosistema I: in vivo versus in vitro. *Actas del XXXIV Congreso SEBBM*, p, 89.
- Hu, C., Ahmed, M., Melia, T. J., Söllner, T. H., Mayer, T., & Rothman, J. E. (2003). Fusion of cells by flipped SNAREs. *Science*, 300(5626), 1745-1749.
- Iacoboni, M. (2011). *Las neuronas espejo. Empatía, neuropolítica, autismo, imitación o de como entendemos a los otros*. (K. Editores, Ed.).
- Kavanaugh, J. S., Rogers, P. H., Case, D. A., & Arnone, A. (1992). High-resolution X-ray study of deoxyhemoglobin Rothschild 37 beta Trp—Arg: A mutation that creates an intersubunit chloride-binding site. *Biochemistry*, 31(16), 4111-4121.
- Kim, J. (1978). Supervenience and nomological incommensurables. *American Philosophical*

- Quarterly*, 15, 149-156.
- Kim, J. (1999). Making sense of emergence. *Philosophical Studies*, 95, 3-36.
- Kim, J. (2006). Emergence: Core ideas and issues. *Synthese*, 151, 547-559.
- Kirchhoff, M. (2014). In search of ontological emergence: Diachronic, but non-supervenient. *Axiomathes*, 24(1), 89-116.
- Klee, R. (1984). Micro-Determinism and Concepts of Emergence. *Philosophy of Science*, 51, 44-63.
- Koch, R. (1891). *Ueber bakteriologische forschung*. Verhandlung des X Internationalen Medicinischen Congresses, Berlin, 1890.
- Kuhlmann, M., & Glennan, S. (2014). On the relation between quantum mechanical and neo-mechanistic ontologies and explanatory strategies. *European Journal for Philosophy of Science*, 4(3), 337-359.
- Latorre, R. (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Universidad de Sevilla.
- Law White, L., Wilson, A. G., & Wilson, D. (1973). *Las estructuras jerárquicas*. Actas del Simposio celebrado los días 18-19 de noviembre de 1968 en los Douglas Advanced Reseach Laboratories, Huntington Beach. California (A. Universidad, Ed.).
- Lehninger, A. L. (1985). *Bioquímica*.
- Levy, A. (2013). Three Kinds of New Mechanism. *Biol Philos*, 28, 99-114.
- Lewes, G. H. (1874). *Problems of Life and Mind, first series, 2 vols*. Truebner & Co.
- Lewes, G. H. (1877). *Problems of Life and Mind, second series*. J. R. Osgood.
- Lewes, G. H. (1879). *Problems of Life and Mind, third series, 2 vols*.
- Lombardi, O., & Martínez González, J. C. (2012). Entre mecánica cuántica y estructuras químicas: ¿a qué refiere la química cuántica? *Scientiæ Zudia*, 10(4), 649-670.
- López Corredoira, M. (2004). Contra el libre albedrío. Aclaraciones ulteriores. *Thémata, revista de Filosofía*, 32, 297-305.
- Lovelock, J. (1993). *Las edades de Gaia*. Tusquets.
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking About Mechanisms. *Philosophy of Science*, 67(1), 1-25.
- Maturana, H., & Varela, F. (2004). *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: La organización de lo vivo* (E. Lumen, Ed.; 2ª Edición). Ed. Lumen.
- Mayr, E. (2005). *Así es la biología*. Debate.
- Mclaughlin, B., & Bennett, K. (2018). Supervenience. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*

- (Spring Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/win2018/entries/supervenience>.
- Mclaughlin, B. P. (1992). The Rise and Fall of British Emergentism. En A. Beckermann, H. Flohr, & J. Kim (Eds.), *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism* (p. pp: 49-93). De Gruyter.
- Michael, J., & Sircar, S. (2012). *Fisiología humana*. El Manual Moderno.
- Mill, J. S. (1843). *A system of logic: Ratiocinative and inductive* ([8th, 1872]). Longmans, Green, Reader, and Dyer.
- Mitchell, S. D. (2009). *Unsimple truths: Science, complexity, and policy*. University of Chicago Press.
- Mitchell, S. D. (2012). Emergence: Logical, functional and dynamical. *Synthese*, 185, 171-186.
- Montévil, M., & Mossio, M. (2015). Biological organisation as closure of constraints. *Journal of theoretical biology*, 372, 179-191.
- Moreno, A., & Mossio, M. (2015). *Biological autonomy. A Philosophical and Theoretical Enquiry*. Springer.
- Moreno, A., & Suárez, J. (2020). Plurality of explanatory strategies in biology: Mechanisms and Networks. En *Methodological Prospects for Scientific Research* (pp. 141-165). Springer.
- Morgan, C. L. (1923). *Emergent evolution* (Williams & Norgate, Eds.; 2º edition (1927)).
- Mossio, M., & Bich, L. (2017). What makes biological organisation teleological? *Synthese*, 194(4), 1089-1114.
- Mossio, M., Bich, L., & Moreno, Á. (2013). Emergence, closure and inter-level causation in biological systems. *Erkenntnis*, 78, 153-178.
- Mossio, M., & Moreno, A. (2010). Organisational closure in biological organisms. *History and philosophy of the life sciences*, 269-288.
- Nagel, E. (1949). *The meaning of reduction in the natural sciences*. na.
- Nagel, E. (1961). *La estructura de la ciencia* (Paidós, Ed.; 1ª Ed. 2006).
- Navarro, J. V. M. (2005). *Contribución de residuos conservados de cisteína a la regulación redox del catabolismo de la Rubisco*. [PhD Thesis]. Universitat de València.
- Oppenheim, P., & Putnam, H. (1958). Unity of science as a working hypothesis. En H. Feigl, M. Scriven, & G. Maxwell (Eds.), *Concepts, theories, and the mind-body problem, Minnesota Studies in the Philosophy of Science II* (pp. 3-36). University of Minnesota Press.
- Park, J.-H. (2013). How many is different? Answer from ideal Bose gas. *Journal of Physics*., *arXiv:1310.5580*.

- Pattee, H. H. (1972). Laws and constraints, symbols and languages. En C. H. Waddington (Ed.), *Towards a Theoretical Biology* (Vol. 4, pp. 248-258). Edinburgh University Press.
- Pattee, H. H. (1982). Cell Psychology: An Evolutionary Approach to the Symbol-Matter Problem. *Cognition and brain theory*, 5(4), 325-334.
- Penrose, R. (1991). *La nueva mente del emperador*. Grijalbo.
- Pepper, S. C. (1926). Emergence. *Journal of Philosophy*, 23, 241-245.
- Piironen, T. (2014). Three Senses of “Emergence”: On the Term’s History, Functions, and Usefulness in Social Theory. *Prolegomena: časopis za filozofiju*, 13(1), 141-161.
- Polanyi, M. (1968). Life’s Irreducible Structure. *Science, New Series*, 160(3834), 1308-1312.
- Potochnik, A., & McGill, B. (2012). The limitations of hierarchical organization. *Philosophy of Science*, 79(1), 120-140.
- Prigogine, I. (1978). Time, structure, and fluctuations. *Science*, 201(4358), 777-785.
- Rescher, N. (1996). *Process metaphysics: An introduction to process philosophy*. Suny Press.
- Romanes, G. J. (1895). *Mind and Motion and Monism*, (G. Longmans & Co., Eds.). ed. C. Lloyd Morgan,.
- Rood, J. I., McClane, B. A., Songer, J. G., & Titball, R. W. (1997). *The clostridia: Molecular biology and pathogenesis*. Academic Press.
- Rosen, R. (1978). *Fundamentals of Measurement and Representation of Natural Systems*. New York, North-Holland.
- Rosen, R. (1985). *Anticipatory Systems* (O. P. Press, Ed.).
- Rosenberg, A. (2007). *Philosophy of Biology* (D. M. GABBAY, P. THAGARD, & J. WOODS, Eds.; p. pp 349-368). Elsevier.
- Ruse, M. (1983). *La revolución darwinista*. Alianza Editorial.
- Salmon, W. C. (1994). Causality without counterfactuals. *Philosophy of Science*, 297-312.
- Sartenaer, O. (2016). Sixteen years later: Making sense of emergence (again). *Journal for General Philosophy of Science*, 47(1), 79-103.
- Schaffner, K. (1974). Reductionism in biology. *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, 1974*, 613-632.
- Schiavo, G., Poulain, B., Rossetto, O., Benfenati, F., Tauc, L., & Montecucco, C. (1992). Tetanus toxin is a zinc protein and its inhibition of neurotransmitter release and protease activity depend on zinc. *The EMBO journal*, 11(10), 3577.

- Sellars, R. W. (1922). *Evolutionary Naturalism*. The Open Court Publishing Company.
- Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467-482.
- Spaulding, E. G. (1912). *The New Realism: Cooperative Studies in Philosophy*. The Macmillan Company.
- Spaulding, E. G. (1918). *The New Rationalism: The Development of a Constructive Realism Upon the Basis of Modern Logic and Science Through the Criticism of Opposed Philosophical Systems*.
- Sperry, R. W. (1969). A modified concept of consciousness. *Psychological review*, 76(6), 532.
- Steel, D. (2007). *Across the boundaries: Extrapolation in biology and social science*. Oxford University Press.
- Stephan, A. (1992). Emergence—A Systematic View on its Historical Facets. En A. Beckermann, H. Flohr, & J. Kim (Eds.), *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism* (p. pp: 25-48). DE GRUYTER.
- Tomasello, M. (2010). *¿Por qué cooperamos?* (K. Editores, Ed.). Katz.
- UniProt. (2020). P09848 (LPH\_HUMAN). UniProt. <https://www.uniprot.org/uniprot/P09848>
- Van de Vijver, G., & Chandler, J. L. (2000). *Closure: Emergent Organizations and their Dynamics*. New York Academy of Sciences.
- Varela, F. (1979). *Principles of biological autonomy*. North Holland.
- Varela, F. J., & Bourgine, P. (1992). *Toward a practice of autonomous systems: Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*. MIT press.
- Vidal, F., & Ortega, F. (2021). *¿Somos nuestro cerebro?: La construcción del sujeto cerebral*. Alianza Editorial.
- Wallace, A. R. (1871). *Contributions to the Theory of Natural Selection: A Series of Essays*. Mcmillan & Co.
- Weinberg, S. (2015). *Explicar el mundo*. Taurus.
- Weiss, P. A. (1969). The living system: Determinism stratified. En A. Koestler & J. R. Smythies (Eds.), *Beyond Reductionism: New Perspectives in the Life Sciences* (pp. 3--55). London, Hutchinson.
- Wimsatt, W. C. (1976). Reductionism, Levels of Organization, and the Mind-Body Problem. En I. S. (eds. ) Walter B. Weimer (auth.) Gordon G. Globus, Grover Maxwell (Ed.), *Consciousness and the Brain: A Scientific and Philosophical Inquiry* (1.<sup>a</sup> ed.). Springer US.
- Wimsatt, W. C. (1994). The ontology of complex systems: Levels of organization, perspectives, and

- causal thickets. *Canadian Journal of Philosophy*, 24(sup1), 207-274.
- Wimsatt, W. C. (1997). Aggregativity: Reductive Heuristics for Finding Emergence. *Philosophy of Science*, 64(2), S372-S384.
- Woodward, J. (2003). *Making things happen: A theory of causal explanation*. Oxford University Press.
- Wright, C. D. (2012). Mechanistic explanation without the ontic conception. *European Journal for Philosophy of Science*, 2(3), 375-394.
- Zecca, L., Mesonero, J. E., Stutz, A., Poirée, J.-C., Giudicelli, J., Cursio, R., Gloor, S. M., & Semenza, G. (1998). Intestinal lactase-phlorizin hydrolase (LPH): The two catalytic sites; the role of the pancreas in pro-LPH maturation. *FEBS letters*, 435(2-3), 225-228.



### **13 Apéndice documental**

En este apartado están contenidos los *papers* que he ido realizando durante el proceso de elaboración de esta tesis. Los tres primeros, ya disponibles, están ordenados por su fecha de publicación. El cuarto está aceptado y pendiente de salir en el próximo número de ENDOXA. El quinto, está en revisión y espero que se acepte en breve. Son los siguientes:



**13.1 Intervalos de cuasi-descomponibilidad y propiedades emergentes, (2017). Emilio Cáceres y Cristian Saborido. *Theoría*, 32(1), 89-108.**



# Intervalos de cuasi-descomponibilidad y propiedades emergentes\*

*(Intervals of Quasi-Decompositionality and Emergent Properties)*

Emilio CÁCERES VÁZQUEZ y Cristian SABORIDO

Received: 30/01/2016

Final Version: 06/04/2016

BIBLID 0495-4548(2017)32:1p.89-108

DOI: 10.1387/theoria.15718

RESUMEN: La noción de emergencia acompaña a la Filosofía de la Ciencia desde finales del siglo XIX, afirmando que en algunos sistemas existen propiedades a ciertos niveles que no pueden deducirse de las propiedades de los componentes de estos sistemas tal y como son observadas en niveles más fundamentales. A lo largo del siglo XX las caracterizaciones de este concepto de emergencia se han apoyado en cuatro pilares: impredecibilidad, novedad, restricción y causación descendente. Estos pilares están ligados a la asunción de una jerarquización de la realidad en niveles de organización. En este trabajo intentamos demostrar que puede explicarse la naturaleza de las propiedades (aparentemente) emergentes utilizando la noción de cuasi-descomponibilidad propuesta originariamente por Herbert Simon.

Palabras clave: Emergencia, reduccionismo, mecanicismo, epistemología.

ABSTRACT: The notion of emergence has accompanied philosophy of science since the late XIX century, claiming that in some systems there are properties in certain levels that cannot be deduced from properties of their components as seen in more fundamental levels. Throughout the XX century, emergence has been characterized by four pillars: unpredictability, novelty, restriction and downward causation. These four pillars have been related to the assumption of a hierarchical order of reality in different levels of organization. In this paper, we show that it is possible to explain the nature of the (apparent) emergent properties through the nearly-decomposability criterion introduced by Herbert Simon.

Keywords: Emergence, reductionism, mechanisms, epistemology.

## 1. Introducción

La idea de que toda la materia está formada exclusivamente por sus componentes materiales está asentada en nuestro pensamiento científico. No obstante, existe un rechazo a pensar que el comportamiento de esa materia, especialmente la considerada viva, está determinada por sus elementos. Este planteamiento, resumido en el aforismo *el todo es más que la suma de las partes*, ha supuesto la división del estudio de la materia en dos enfoques contrapuestos, el de aquellos que piensan que *los todos* pueden reducirse a sus partes y el de aquellos

---

\* Queremos agradecer su desinteresada colaboración a Álvaro Martínez del Pozo, Catedrático de Bioquímica y Biología Molecular de la Universidad Complutense de Madrid, y a Jorge Alegre-Cebollada, jefe de grupo del Single-Molecule Mechanobiochemistry lab del CNIC por su colaboración a la hora conocer los aspectos biológicamente más actuales.



que afirman que tienen «algo más» que hace que emerjan nuevas características no derivables desde sus componentes.

La existencia o la inexistencia de esta sinergia es un problema en busca de solución desde hace más de 160 años cuando John Stuart Mill hablara por vez primera, al menos de forma explícita, de leyes heteropáticas (Mill 1843, 269) Estas leyes estaban en principio vinculadas a la química, pero pronto pasaron a formar parte de la biología sobre todo a raíz de la publicación de la obra de Charles Darwin y su compromiso con el gradualismo. El fin del vitalismo, el desarrollo de la biología como una ciencia analítica o el fallo del reduccionismo (Bunge 2004, 191) han supuesto hitos importantes para comprender las diferentes caracterizaciones que se han dado de la idea de la emergencia y que han llevado este concepto hasta nuestros días. A lo largo de todo el siglo XX, la emergencia ha avanzado ligada a la existencia de niveles de organización y, aunque no se puede considerar un concepto con una definición única, si se han identificado cuatro pilares en los que todas las caracterizaciones de lo emergente se sustentan, a saber: a) la impredecibilidad, o imposibilidad de deducción de las propiedades de los todos a partir de sus partes, b) la novedad cualitativa, o la existencia genuinas nuevas propiedades en niveles superiores, c) la restricción o realizabilidad múltiple, o la limitación impuesta por los niveles macro sobre los diferentes niveles micro y d) la causalidad descendente, o la influencia causal del todo en sus partes (Klee 1984).

Actualmente, hay dos tendencias principales a la hora de tratar la emergencia. Por un lado está el enfoque, cercano a la noción más clásica, que aboga por la existencia de un cierre causal (*casual closure*) que hace especial énfasis en la auto-organización y en la influencia del todo sobre las partes (Maturana y Varela 1973). Por otro, cercano al reduccionismo, la visión mecanicista mantiene algunas ideas surgidas de la emergencia como la existencia de niveles cualitativamente diferentes, la realizabilidad múltiple y una cierta causación descendente (Machamer, Darden y Craver 2000).

En este trabajo se va a argumentar en contra de las propiedades emergentes y de la existencia objetiva de los niveles de organización a la vez que se describe un reduccionismo heurísticamente modulado con fines eminentemente prácticos. Para ello, partiendo del concepto de criterio de cuasi-descomponibilidad de Herbert Simon mostramos que es posible redefinir las ideas de novedad, causación descendente y restricción sin necesidad de apelar a propiedades emergentes.

## 2. *Los pilares fundamentales de la emergencia*

El término ‘emergencia’ ha auspiciado diferentes posturas filosóficas ya desde que George Lewes lo acuñara en 1874 (Lewes 1874, (II), 412), extrapolando la idea desde una explicación de las propiedades de los compuestos químicos por parte de Mill a la filosofía postdarwinista (Morgan 1923). El término se ha tratado en tantos ámbitos y con tantas connotaciones que no existe un criterio unificado que lo defina. Muchas han sido las aproximaciones, destacando las de Mario Bunge (Bunge 2004), Clauss Emmeche (Emmeche, Köppe, y Stjernfelt 1997), William Wimsatt (Wimsatt 2000), Timothy O’Connor (O’Connor 1994), Richard Campbell y Mark Bickhard (R. J. Campbell y Bickhard 2011), Michael Silberstein y John McGeever (Silberstein y McGeever 1999) o David Blitz (Blitz 1992). Son también varios los análisis metateóricos que se han propuesto para dar cuenta de las características de las diferentes concepciones y para tratar de ofrecer una clasificación de los tipos de emergen-

cia más utilizados, como el trabajo ya clásico de Robert Klee (Klee 1984) o el más reciente de Tero Piironen (Piironen 2014). Estos trabajos subrayan que la clave de la idea de la emergencia estriba en su origen histórico y en su evolución temporal.

Así, muestran cómo la formulación por parte de Jakob Schleiden y Theodor Schwann de la teoría celular en 1839 supuso un primer paso en la visión reduccionista de la vida. Fisiólogos de la época llegaron incluso a declarar que «*en el mundo orgánico no hay otras fuerzas en actividad que las fisicoquímicas conocida*» (Mayr 2006, 94). Y esto en relación no solo con los aspectos fisiológicos sino también con los «*del pensamiento y del lenguaje, del libre albedrío, etc.*» (Garrison 1922, 162). Aun así, la ciencia estaba impregnada de vitalismo (Mayr 2006, 95) y consideraba que los fenómenos biológicos eran manifestaciones directas del alma y por lo tanto no explicables materialmente (Emmeche, Köppe y Stjernfelt 1997, 89). Esta postura vitalista llegó hasta principios del siglo xx, con Hans Driesch como último vitalista influyente (1997, 91), hasta que J.S Haldane declaró en 1931 que «*los biólogos han abandonado casi unánimemente el vitalismo como creencia aceptable*» (Mayr 2005, 30). Sin embargo, este abandono no supuso la aceptación del mecanicismo sino la introducción de un nuevo programa, el organicismo, que si bien aceptaba la idea básica de que los componentes y sus propiedades fisicoquímicas eran los responsables de todas las funciones vitales, su influencia se disipaba conforme se ascendía en complejidad, pues la totalidad influía causalmente en las partes. E.W. Ritter, introductor del término «*organicismo*», lo expresaba así en 1919: «*los todos están tan relacionados con sus partes que no solo la existencia del todo depende de la cooperación ordenada y la independencia de sus partes, sino que el todo ejerce además un cierto grado de control determinista de sus partes*» (2005, 31).

Esta idea de que el todo es más que la suma de las partes, y no simplemente la suma de estas, procede de la posición de Mill que distinguía entre causas que se combinan dando un resultado aparentemente novedoso y aquellas genuinamente nuevas. Las leyes homopáticas, para lo predecible, y las heteropáticas, para lo impredecible, se complementan dando lugar a resultados generalmente homogéneos y particularmente heterogéneos, de forma que se establece una especie de brecha antes y después de la cual, todo puede predecirse (Mill 1843, 269). Aun así, Mill aclara que «*no somos, al menos en nuestro estado actual de conocimiento, capaces de prever qué resultado seguirá a partir de una nueva combinación hasta que hayamos intentado el experimento específico*» (1843, 267) dejando abierta una interpretación del concepto de ley heteropática más cercano a una *irreductibilidad contingentemente epistemológica* (Piironen 2014, 143) que a una emergencia al uso. Esta idea de Mill es llevada por Lewes al campo de lo vivo proponiendo la subordinación de la Física y la Química a la Biología y tratando al organismo como un todo (Lewes 1877, 21-22). Lewes amplía la consideración de emergencia a lo psíquico y basa en la emergencia la concepción de un mundo discontinuo, con cambios cualitativos, contrario a la visión darwinista gradual y cuantitativa (Blitz 1992, 80-81). Así, más allá del cuño del término, plantea varios de los principios que recogerán los denominados emergentistas británicos: la novedad cualitativa, la imposibilidad de reducción, las propiedades de los todos frente a sus partes y la jerarquía de las ciencias y de sus respectivos niveles de estudio. Fue Edward Spaulding uno de los primeros en buscar una razón a la emergencia al afirmar que «*el análisis involucra la relación todo-parte*» (Spaulding 1912, 158), dando una importancia decisiva a la organización, especialmente en los *todos orgánicos* (1912, 237-247). Además, alude a la influencia de los niveles superiores sobre los inferiores, configurando un esbozo de lo que posteriormente se denominará «*causación descendente*» (1918, 450-451).

A principios del siglo XX la idea de emergencia ya está perfilada de forma que podrá ser usada para tratar de responder a ciertos problemas de la filosofía de la biología, algo que según los críticos del emergentismo no se logró hacer (Baylis 1929). Por ejemplo, Lloyd Morgan utiliza el nuevo concepto como eje de una teoría de la evolución con la que intentaba resolver el gradualismo darwiniano. Desde un enfoque filosófico, este problema era grave (Blitz 1992, 1), pues si la evolución trabaja gradualmente no puede haber ninguna separación entre dos características cualesquiera que no pueda rellenarse por un número finito de términos. Aquí es donde Morgan sitúa la emergencia haciendo énfasis en la novedad como algo más que un mero reordenamiento de los componentes desde un enfoque naturalista y rechazando explícitamente la *entelequia* de Driesch y el *élan vital* de Bergson (Morgan 1923, 1-2).

Paralelamente, Samuel Alexander propone una emergencia de niveles con cualidades genuinas pero conservando propiedades resultantes. Cada nivel tenía su propio y peculiar proceso de comportamiento en virtud de su organización y su complejidad (Alexander 1920, 45-46), algo que puede entenderse como leyes de nivel, que no son deducibles ni sirven para predecir el comportamiento de los niveles previos ni posteriores. Alexander declaraba no conocer la razón de la emergencia (1920, 63), y aunque rechazaba lo sobrenatural introdujo un aspecto teleológico al afirmar que la organización está dirigida hacia la perfección que supone la deidad (1920, 353), que por influir en los niveles previos puede leerse como un antecedente de la causación descendente. También aboga por la necesidad del análisis top-down, pues aunque no pone en duda la posibilidad de determinación y de predicción, afirma que no podrá hacerse de forma completa. Así, un calculador laplaciano sería capaz de determinar la micro-estructura de todo lo existente, pero esto sería incompleto pues no habría incluido las propiedades emergentes que no pueden conocerse a menos que se experimenten (1920, 328).

En la misma década de 1920, A. C. Broad hace una primera formalización de la teoría de la emergencia con el fin de dilucidar entre la existencia de uno o varios tipos de sustancia material (Broad 1925, 22), es decir, entre las posiciones monistas y pluralistas (1925, 38). En este contexto, la emergencia es un punto intermedio que elimina los problemas del mecanicismo biológico y del vitalismo sustancial como formas de explicación monista y dualista clásicas respectivamente (Blitz 1992, 117). Este *vitalismo emergente* parte de la existencia de ciertos todos formados por distintos componentes A, B y C en una relación R, tales que todos aquellos que cumplen la misma relación  $R(A, B, C)$  tienen las mismas propiedades características. Añade que los mismos componentes pueden formar otras relaciones diferentes, por ejemplo  $S(A, B, C)$  de forma que tendrán otras propiedades diferentes. Las propiedades de cada todo no pueden ser deducidas del completo conocimiento de las propiedades aisladas de A, B y C ni de otros todos diferentes a  $R(A, B, C)$  (Broad 1925, 61). Broad pone ejemplos, pero no proporciona explicaciones.

Hecha esta introducción, vamos a seguir el análisis que Robert Klee (Klee 1984) hizo de la emergencia con el fin de establecer cuales son los pilares fundamentales que supuestamente la sustentan. Su idea consiste en contrastar la noción de emergencia con la idea de que en una estructura organizada en niveles de complejidad creciente, los niveles superiores son deducibles de los inferiores, a lo cual denomina micro-determinismo. Klee parte de un artículo de Stephen C. Pepper (Pepper 1926) quién intentó dilucidar si las propiedades emergentes eran algo especial o meros epifenómenos. Pepper hablaba de la emergencia como de algo caracterizado por la existencia de unas marcas (*marks*) en los niveles superiores de organización que los distinguen de los niveles inferiores por el hecho de ser más com-

plejos. Klee se propone buscar estas marcas y para ello se pregunta si lo que emergen son leyes, como piensan Meehl y Sellars (Meehl y Sellars 1956), Kekes (Kekes 1966) o Campbell (D.T. Campbell 1974), o son restricciones que condicionen los niveles, como piensan Weiss (Weiss 1970) y Pattee (Pattee 1971). Continúa analizando la aparición impredecible e irreductible de novedades genuinas, entendidas como hacía Kekes, es decir, como regularidades ontológicas que no están presentes en los niveles inferiores (Kekes 1966, 360). Esta concepción, que Klee llama emergencia nómica, se basa en que la materia viva se comporta de forma diferente a la inerte en virtud de su organización (Klee 1984, 46).

Tras esto, Klee pone su foco en la consideración de que desde el nivel inferior surgen ciertas constricciones (*constraints*) (1984, 45) que condicionan el nivel superior. Esta idea de límite procede de las *condiciones de contorno* que Michael Polanyi propuso como limitación de los posibles desarrollos del nivel macro a partir del nivel micro (Polanyi 1968). Para Polanyi es la información contenida en el ADN la que establece las condiciones dentro de las cuales puede desarrollarse la vida. Pero esa información, a pesar de estar en la secuencia, es independiente de su composición física, o en sus propias palabras, «*debe ser tan físicamente indeterminado como la secuencia de las palabras lo está en una página impresa. Como la disposición de una página impresa es ajena a la química de la página impresa*» (Polanyi 1968, 1309) Esta idea del auto-cierre de lo vivo como característica diferenciadora frente a lo inerte, ha sido el germen de otros conceptos posteriores como la autopoiesis (Maturana y Varela 1973), el cierre semántico (Pattee 1982), el cierre de causalidad eficiente (Rosen 1985) de Rosen, o la obra de Kauffman (Kauffman 1993), y goza de amplio reconocimiento en la biología teórica actual (Etxeberria y Umerez 2006). Polanyi lo ejemplifica con el desarrollo embrionario argumentando que el ADN establece unas restricciones ambientales, dentro de la madre, que limita los grados de libertad y condiciona la correcta formación del embrión<sup>1</sup>.

Klee desglosa todos los aspectos anteriores llegando a cuatro características que considera distintivas de la emergencia de una propiedad P a partir de una micro-estructura MS. Bastaría una de ellas para que se pueda hablar de emergencia.

1. P, en principio, es impredecible a partir de MS (i.e. desde un completo conocimiento teórico de MS en el límite de la indagación científica); o
2. P es nueva con respecto a MS; o
3. MS exhibe un mayor grado de variación y fluctuaciones que aquellos del nivel de organización donde P ocurre, la constante y perdurable presencia de P en el sistema no parecería completamente determinada por MS; o
4. P tiene una directa y determinante influencia sobre, al menos, alguna de las propiedades en MS. (Klee 1984, 48)

<sup>1</sup> Resulta evidente que la relación entre la visión auto-organizativa en biología y la cuestión del emergentismo en filosofía de la ciencia necesita de un tratamiento independiente. Limitándonos a los propósitos de este trabajo, queremos señalar que la caracterización teórica de la auto-organización está íntimamente ligada a la de la causación internivel, la cual es tratada directamente en nuestro artículo. Según nuestra interpretación (véase sección 4d), el auto-mantenimiento es un fenómeno apreciable exclusivamente desde un enfoque que atiende a un nivel mesoscópico. De aquí que la auto-organización pueda verse como una propiedad de nivel y, por consiguiente, dependiente en último término de las propiedades de sus elementos.

Concretando el análisis de Klee, podríamos denominarlas *impredecibilidad, novedad, restricción o realizabilidad múltiple y causación descendente*.

Klee intenta explicar estos pilares, pero afirma que no hay un único enfoque que pueda explicarlos completa y convincentemente (1984, 51). Lograrlo es el objetivo de los siguientes apartados de este trabajo.

### 3. *El criterio de cuasi-descomponibilidad de Herbert Simon*

En 1962 Herbert Simon en su artículo clásico sobre la complejidad distinguía, en su disquisición acerca de las relaciones entre los subsistemas de una estructura jerarquizada, entre aquellos a los que denominaba sistemas descomponibles, en los que las relaciones entre sus subsistemas eran claramente distinguibles, y los que llamaba sistemas cuasi-descomponibles (*nearly-decomposable systems*), en los que dichas relaciones eran no tan claramente discernibles si bien no despreciables. Desde una perspectiva teórica, los sistemas cuasi-descomponibles se caracterizan en que en el corto plazo, el comportamiento de sus subsistemas componentes es *aproximadamente independiente* entre sí, mientras que en el largo plazo, dependen solo de forma agregativa (Simon 1962, 474). En su descripción de este tipo de sistema, propone un ejemplo en el que partimos de una casa con un aislamiento térmico perfecto, formada por habitaciones bien aisladas subdivididas en cubículos mal aislados, cada uno de los cuales cuenta con un termómetro. Al principio del experimento, los cubículos y las habitaciones tienen temperaturas diferentes, pero pasado un tiempo la temperatura comenzará a homogeneizarse. Primero lo hará entre cubículos debido a su mal aislamiento, posteriormente se igualará la temperatura entre habitaciones, pues a pesar del aislamiento, lo están de forma deficiente. Así, el sistema *casa* será cuasi-descomponible en subsistemas *habitación* y estos a su vez en subsistemas *cubículo* (1962, 474). Los valores de flujo térmico se podrían representar en una matriz de datos como descripción del sistema cuasi-descomponible. El flujo entre cubículos será mayor que el flujo entre habitaciones, por lo que según donde pongamos nuestro límite, los cubículos serían un ejemplo de cuasi-descomponibilidad, mientras que las habitaciones serían descomponibles. Simon habla de un valor  $\varepsilon$  que *decidimos arbitrariamente* y que nos sirve como delimitador. De hacerlo así, veríamos que en un corto plazo, la diferencia de temperatura entre cubículos habría desaparecido, por lo que disponer de un termómetro en cada uno de ellos resultaría superfluo y valdría con uno por habitación (1962, 475). Resulta obvio que si, en vez de utilizar un  $\varepsilon$  o *criterio de cuasi-descomponibilidad* utilizamos otro, podríamos decir que los subsistemas *habitaciones* serían cuasi-descomponibles. Si en vez de utilizar un solo criterio, usamos dos,  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$ , tendremos la distinción entre dos subsistemas cuasi-descomponibles anidados.

Supongamos que ampliamos el campo de observación y miramos desde una perspectiva más amplia, de forma que la vivienda de Simon, su sistema aislado, forme parte de un grupo de cuatro viviendas adosadas, que a su vez forman parte de una urbanización de cuatro de esos adosados. Ahora podemos determinar diferentes criterios de cuasi-descomponibilidad ( $\varepsilon_n$ ) según el subsistema al que nos queramos referir y tendríamos varios  $\varepsilon_n$  que distinguirían cubículos, habitaciones, casas, adosados, etc. Así tendríamos que cada subsistema cuasi-descomponible estaría delimitado por dos  $\varepsilon_n$  y sería definible por lo que podríamos llamar *intervalos de cuasi-descomponibilidad*  $I_{(i,j)} = [\varepsilon_i, \varepsilon_j]$ . Con esta nomenclatura,

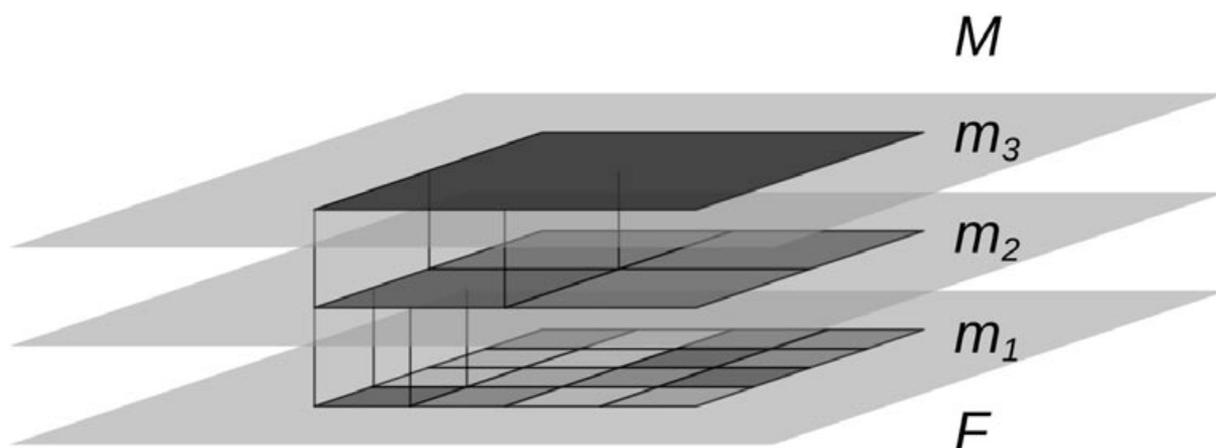
tendremos cubículos o  $I_{(0,1)} = [\varepsilon_0, \varepsilon_1]$ , habitaciones o  $I_{(1,2)} = [\varepsilon_1, \varepsilon_2]$ , casas o  $I_{(2,3)} = [\varepsilon_2, \varepsilon_3]$ , adosados o  $I_{(3,4)} = [\varepsilon_3, \varepsilon_4]$  y la urbanización  $I_{(4,5)} = [\varepsilon_4, \varepsilon_5]$ . Todos serían sistemas cuasi-descomponibles y por tanto se influyen de forma no despreciable.

Simon parte de una situación de equilibrio que evoluciona sin injerencias, por ello, llega un momento en el que es suficiente con un termómetro en cada habitación y pasado un tiempo, uno para la casa, adosado o urbanización. Esto es así porque se alcanzaría un equilibrio estático al formar parte de un sistema aislado. Pero si en cada cubículo hay un radiador se establecerá un equilibrio dinámico de manera que habrá un gradiente térmico centrado en los radiadores. Es decir, habrá una diferencia continua y la ubicación de solo un termómetro en cada cubículo, habitación, vivienda, adosado o urbanización dependerá de una decisión arbitraria, determinada por algún tipo de interés, bien explicativo, bien predictivo, bien metodológico, etc. Si la finalidad es conocer cómo influye la temperatura de cada casa en la urbanización, observaremos solo en el intervalo  $I_{(2,3)} = [\varepsilon_2, \varepsilon_3]$ , promediando su temperatura sin importar sus gradientes internos ni las temperaturas de sus habitaciones y cubículos, a pesar de que la temperatura está determinada, en última instancia, por ellos. Como efecto *no deseable* de esta simplificación, aparecería una artificial uniformización del sistema, pudiéndose pensar que los distintos intervalos tienen idéntico comportamiento, efecto más marcado cuando más complejo sea el sistema.

Simon considera la casa como un sistema aislado, es decir, perfectamente descomponible, cuando estrictamente no existen tales sistemas. Es como si pensara en un valor límite de  $\varepsilon$  por encima del cual los sistemas pasaran de cuasi-descomponibles a perfectamente descomponibles. Sin embargo, no da ninguna razón que lo justifique. Si ampliamos más el caso y pensamos en un barrio formado por urbanizaciones y un pueblo formado por barrios, es cierto que la influencia de cada cubículo es muy pequeña, pero no es despreciable, pues aunque es una cantidad mínima comparada con la procedente del sol, es la responsable de que la temperatura en los pueblos sea sensiblemente mayor que en una zona deshabitada. Si imaginamos un pueblo como éste en un imaginario lugar sin sol, resulta evidente que la diferencia entre el pueblo y las afueras serían importantes. Por lo tanto, la segunda condición de Simon para los sistemas cuasi-descomponibles, «*a largo plazo, el comportamiento de cualquiera de los componentes depende únicamente de modo agregativo del comportamiento del resto de los componentes*» (Simon 1962, 474), no se satisface mientras los sistemas sigan generando desigualdad.

En la revisión que hace Simon de los sistemas físico-químicos (1962, 475) se plantea la aplicación de un criterio basado en la diferencia energética entre enlaces covalentes y débiles. De esta manera, en función del valor de  $\varepsilon$  que elijamos, podemos discriminar las asociaciones. Si situamos  $\varepsilon$ , como dice Simon, justo por debajo del valor energético del enlace covalente, estableceremos que las moléculas son sistemas cuasi-descomponibles, mientras que aquellas uniones basadas en enlaces más débiles, son interacciones intermoleculares. Por esto consideremos el  $H_2O$  como una molécula, mientras que la interacción entre varios hidrógenos y oxígenos por enlaces covalentes y de hidrógeno  $(H_2O)_n$ , lo vemos como un conjunto de moléculas y no como una macromolécula. Esta distinción si bien es relativamente clara en los enlaces covalentes, no lo es tanto en los de tipo iónico y ni en los metálicos. Simon determina el criterio de cuasi-descomponibilidad en base a la energía de enlace, pero puede escogerse cualquier criterio en función del fin perseguido.

Así, en función de  $\varepsilon_n$  habrá un «nivel fundamental aporoblemático» (Machamer, Darden y Craver 2000, 13) o microscópico  $F$ , un nivel macroscópico  $M$  y múltiples niveles mesoscópicos anidados  $m_1, m_2, \dots, m_n$ . De esta manera la relación entre los subsistemas superiores y los inferiores es simplemente composicional y por lo tanto, la relación entre dos niveles diferentes es de *identidad*. Esto sugiere que, de igual manera que la casa de Simon *era* el conjunto de los cubículos agrupados en habitaciones, un ser humano *es* un conjunto de átomos agrupados en moléculas, en células, en tejidos, en órganos y en aparatos o sistemas. Pero no solo eso, sino que mirando en el otro sentido, *es un componente* de poblaciones, ecosistemas y biomas, siendo un punto intermedio de un conjunto de sistemas cuasi-descomponibles anidados<sup>2</sup>.



*Ilustración 1. Niveles de organización*

Los intervalos de cuasi-descomponibilidad no solo delimitan horizontalmente los niveles de organización de la materia, sino que determinan verticalmente las diferentes entidades existentes en cada nivel, incluso elementos que debido a su naturaleza química no aumentan de complejidad. Si definimos un  $\varepsilon_i$  en base al valor de energía del enlace covalente, definiremos el nivel molecular, pero también nos separará las moléculas como entes individuales. De igual manera, si ampliamos el  $\varepsilon_i$  distinguiremos el nivel celular y las células individuales, el

<sup>2</sup> Cuando hablamos de un nivel aporoblemático o fundamental  $F$  nos referimos, como puede suponerse, al nivel de las propiedades físicas; nivel que, independientemente de las complicaciones derivadas de los nuevos desarrollos de la Física es considerado habitualmente como el nivel último que constituye la base para un reduccionismo ontológico. Esto va en la línea de lo defendido explícitamente por autores como Machamer, Darden y Craver (Machamer, Darden, y Craver 2000, 13) y Glennan (Glennan 1996, 50). Desde el punto de vista de la Física, Roger Penrose aclara la diferencia entre el nivel cuántico y el clásico (Penrose 1991, 374-375), señalando explícitamente que las dificultades de la Física actual no suponen realmente un reto para el enfoque reduccionista. Tal y como dijo Paul Dirac, uno de los fundadores de la mecánica cuántica: «*The underlying laws necessary for the mathematical theory of a large part of physics and the whole of chemistry are thus completely known, and the difficulty is only that exact applications of these laws lead to equations which are too complicated to be soluble*» (Dirac 1929, 714) tomado de (Mitchell 2012, 172). Por otro lado, López Corredoira también hace un interesante análisis de esta cuestión aquí: (López Corredoira 2004)

nivel de individuo y los individuos individuales, el nivel de población y las poblaciones individuales, etc. Sin embargo, conforme ascendemos hacemos discriminaciones arbitrarias en función de un análisis previo *top-down* que condiciona la observación. Así, si estamos hablando de poblaciones humanas, eliminamos los organismos no-humanos y los no-organismos, como el aire o el agua; si pensamos en organismos humanos, eliminamos las células no humanas y las no-células, y así sucesivamente, denominando *entorno* a todo lo que eliminamos, lo que supone una simplificación enorme.

Un aspecto importante a destacar es el relativo al estudio de los niveles. Como ya se ha señalado, la selección del nivel depende del valor del  $\epsilon$ , y dado que éste es arbitrario, su elección debe obedecer a algún criterio definible. Sin que esto signifique que no pueda existir otro principio, proponemos el uso de un criterio heurístico, y por tanto dependiente del *para qué* de la observación. Si el objeto del estudio es, por ejemplo, el plegamiento de una proteína, podemos pensar en un  $\epsilon_i$  que nos permita discriminar entre macromoléculas, mientras que si el fin de una investigación es analizar la relación de apareamiento dentro de una población, la elección heurística de  $\epsilon$  nos tiene que facilitar discernir entre individuos. Sin embargo esta elección no es sencilla, pues para comprender el plegamiento de una proteína debemos tener en cuenta elementos de niveles inferiores, como pueden ser protones determinantes del pH, de la misma forma que para entender el comportamiento de apareamiento hay que entender las bases fisiológicas de la reproducción.

Sea cual sea el criterio de elección de  $\epsilon$ , su función como límite superior del intervalo de cuasi-descomponibilidad va a establecer ciertas entidades discriminables como individualidades con sus propias características que deberán ser descritas de manera adecuada, para lo que debe existir una disciplina encargada de tal tarea. Así, siguiendo con los ejemplos anteriores, habrá una ciencia que abarque el estudio del apareamiento y por lo tanto del nivel de población, la etología y otra dedicada al estudio del plegamiento de las proteínas y en general del estudio de las moléculas biológicas, la biología molecular. Cada una de estas ciencias trabajará dentro del campo de estudio determinado por la elección del intervalo de cuasi-descomponibilidad y tomará como *su* todo a esta partición. Sin embargo, en su estudio considerará las partes componentes que estime oportunas para poder explicar el funcionamiento de este todo. Así, la etología, además de las poblaciones considerará a los individuos y su fisiología mientras que la biología molecular ampliará su foco hasta las pequeñas moléculas y los átomos, como ya propusiera Mario Bunge, aunque con una intención diferente (Bunge 1973, 41-43). De aquí podemos extraer la idea de que cada ciencia, además de su propio  $\epsilon$ , usará como criterios de sub-cuasi-descomponibilidad ( $\epsilon_i^{\text{sub}}$ ) aquellos de las ciencias situadas en niveles inferiores. Igualmente, las ciencias encargadas del estudio de niveles mesoscópicos deberán considerar los niveles inmediatamente superiores para comprender la influencia de *sus* todos en los *otros* todos, y de manera análoga tomarán los  $\epsilon_i$  de las ciencias de los niveles superiores como criterios de supra-cuasi-descomponibilidad ( $\epsilon_i^{\text{supra}}$ ). De esta manera, con la elección de los niveles en los cuales una ciencia tiene *competencia secundaria* se establece lo que puede denominarse como intervalo ampliado de cuasi-descomponibilidad  $IA_{(i,j)} = [\epsilon_i^{\text{sub}}, \epsilon_j^{\text{supra}}]$ .

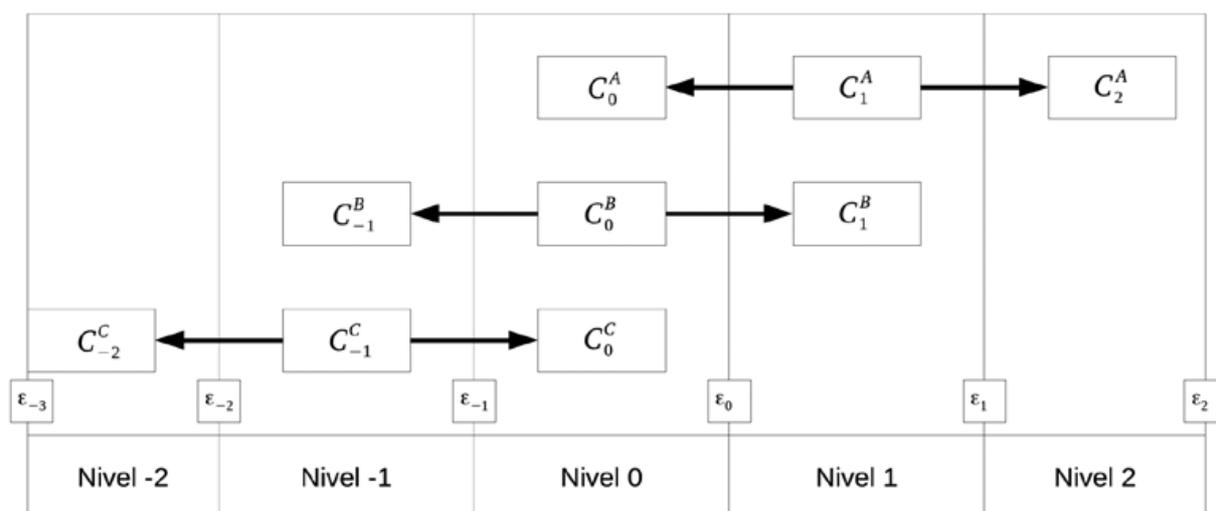


Ilustración 2. Niveles y ciencias especiales

En la ilustración 2 se puede ver cómo quedaría estructurada la materia en función de la elección de varios  $\epsilon_i$ . Si elegimos valores entre  $\epsilon_{-2}$  y  $\epsilon_2$  estaremos haciendo una partición de la materia en niveles entre dos valores de  $\epsilon$ . Así, el intervalo  $I_{(-2, -1)} = [\epsilon_{-2}, \epsilon_{-1}]$  nos define el nivel -1, el  $I_{(-1, 0)} = [\epsilon_{-1}, \epsilon_0]$  el nivel 0 y por último, el intervalo  $I_{(0, 1)} = [\epsilon_0, \epsilon_1]$  establece el nivel 1. De cada nivel se encarga por consiguiente una ciencia, en este caso, las ciencias C, B y A respectivamente. Cada ciencia indagará por debajo y por encima de su nivel con el fin de conocer mejor su objeto de estudio y necesitará determinar por una parte, cuáles son sus subniveles y por otra, de qué supranivel es componente. Por esto, la ciencia A, además de usar su criterio  $\epsilon_1$  tendrá en consideración los niveles inmediatamente inferior y superior, y por lo tanto contará con un intervalo ampliado de estudio  $IA_{(-1, 2)} = [\epsilon_{-1}^{\text{sub}}, \epsilon_2^{\text{supra}}]$ .

Una vez definido el intervalo de competencia para cada disciplina, así como su ampliación, cada ciencia debe realizar una descripción de su objeto de estudio acorde a lo observable desde ese nivel, determinando así un *sistema*. Cada ciencia estudiará su propio intervalo, lo que consiste en distinguirlo de su entorno y describirlo estructural y funcionalmente. Esta descripción debe hacerse en función de la metodología de la ciencia en cuestión y utilizando una terminología propia, lo que implica el uso de propiedades detectables desde su nivel mediante sus métodos de investigación. Por lo tanto, tratará su intervalo como si de una caja negra se tratara, tomando solo aquellos *inputs* y *outputs* que considere necesarios para la finalidad del estudio, estableciendo un sistema modelo, haciendo una simplificación heurística de la realidad. Durante la descripción del sistema será posible detectar regularidades que podrán o no ser catalogadas como leyes.

Esta modelización, es decir, la descripción de un intervalo de cuasi-descomponibilidad en función de las propiedades de ese intervalo según la metodología de la ciencia de ese nivel, implica una simplificación importante. Un nivel determinado, por ejemplo el nivel 1, puede visualizarse como una caja que debe abrir la ciencia encargada de su estudio, por ejemplo la ciencia A. Al hacerlo, verá que su interior está ocupado por otras cajas cerradas formadas por sistemas del nivel inferior 0, de cuyo estudio se encarga la ciencia B. A su vez, estas cajas estarán llenas de nuevas cajas cerradas que se corresponden al nivel -1, responsa-

bilidad de la ciencia C. Este anidamiento de cajas terminaría en los citados nivel F, por debajo, y nivel M, por encima. Cuando la ciencia A va a describir fenómenos de su nivel, no entra a analizar cada una de las cajas-subsistema, sino que se conforma con ciertos datos entrada-salida medidos desde su nivel y por lo tanto con valores promediados, o proporcionados por la ciencia B, que habrá hecho lo mismo en lugar de analizar la caja del nivel C. Por lo tanto, la mera toma de datos implica una pérdida de información asumida que influirá de forma importante en la observación de regularidades y en el establecimiento de leyes. Además, no todas las variables que forman parte de dicho subsistema se utilizan para su descripción, solo aquellas detectadas o consideradas relevantes.

Resulta evidente que para estudiar la regulación de la glucemia, por ejemplo, no resultaría práctico hacer una descripción de la localización de cada molécula de glucosa en la sangre a modo de distribución espacial. Para este estudio lo que resulta útil, y por lo tanto lo que nos permite proporcionar resultados, es el uso de la concentración de glucosa en sangre aunque sepamos que se trata de un dato promediado y por lo tanto inexacto. Pero esto conlleva asumir que la ley planteada será igualmente inexacta, aunque lo suficientemente aproximada para ser práctica y permitir la explicación y la predicción. A priori, este enfoque puede parecer indistinguible de la visión neo-mecanicista (Machamer, Darden y Craver 2000, Glennan 1996, Craver y Bechtel 2007), pero como veremos, hay diferencias sustanciales.

#### 4. *Reinterpretando los pilares de la emergencia*

Basándonos en lo desarrollado anteriormente, es posible explicar los cuatro pilares de Klee sin acudir a la emergencia. Si consideramos el mundo como una sucesión de niveles anidados en función de la selección arbitraria de ciertos criterios de cuasi-descomponibilidad, y si para explicar un nivel consideramos en mayor o menor medida los niveles inferiores como cajas negras es perfectamente comprensible la existencia de la sensación de emergencia.

##### a) *Impredecibilidad*

La capacidad de predicción es explicable tanto desde la perspectiva emergentista como desde la reduccionista. Para hacerlo desde el primer enfoque, sus partidarios deberían demostrar que la impredecibilidad se basa en que las propiedades son debidas a la estructura y que ésta no depende de sus componentes, algo que aún no han hecho (Klee 1984, 51). Mill ya era consciente de que la impredecibilidad podría ser solo ignorancia, así como planteaba la posibilidad de deducir todo hasta el nivel químico, donde encontraba una brecha, y continuar con la predicción completa desde ese nivel (Mill 1843, 269). Eliminado este salto, la predicción podría ser completa. Spaulding también lo veía así cuando decía que «*es una cuestión abierta si esta imposibilidad se debe a la estructura de la existencia, o a nuestra ignorancia*» (Spaulding 1912, 241).

La modelización que cada ciencia hace al trabajar con las simplificaciones de los intervalos ampliados de cuasi-descomponibilidad está detrás de la impredecibilidad, máxime cuando somos ignorantes del grado, e incluso de su existencia. También puede darse el caso de que lleguemos a predecir dicha propiedad de forma no identificable desde una perspectiva superior. Lo primero tiene como solución una mayor colaboración entre las ciencias

implicadas en los IA, lo que traerá un conocimiento más detallado de los componentes y de sus relaciones. Un ejemplo es la dificultad de extrapolar los resultados obtenidos en la experimentación *in vitro* a sistemas *in vivo*, no solo por la influencia de la disolución, sino por los efectos de la multitud de moléculas que forman el medio celular. Esta aglomeración molecular (*macromolecular crowding*) desconocida hasta muy recientemente (Hervás y Navarro 2011, 89), nos ha permitido saber que la célula, y por extensión el organismo completo, es un trabado de moléculas siendo el disolvente poco más que una capa situada entre éstas, de ahí que se esté empezando a trabajar en simulaciones que emulan las condiciones de alta concentración.

La segunda razón está relacionada con la necesidad de un análisis previo *top-down* que ya Morgan puso en evidencia (Morgan 1923, 5), pero no como consecuencia de la emergencia, sino para poder saber qué propiedades superiores son relevantes para nuestros intereses. Un ejemplo es el papel de la titina en la contracción muscular, más exactamente en la relajación de los sarcómeros de las fibras musculares. Desde un enfoque médico resulta interesante saber cómo se lleva a cabo dicha relajación, razón por la que se investiga a niveles moleculares descubriendo el papel de la titina, proteína que se desnaturaliza en la contracción y de cuya renaturalización depende la relajación muscular. El estudio *top-down* lleva a un análisis *bottom-up* mediante la observación de dominios aislados en proteínas individuales a través de técnicas de microscopía de fuerza atómica (AFM). Los análisis han hallado una correlación cualitativa directa entre la acción de la titina y la relajación cardiaca, relación que se hace patente cuando al modificar la proteína interfiriendo en su renaturalización se altera la relajación cardiaca (Alegre-Cebollada et al. 2012). La dificultad para establecer una relación cuantitativa es debida, entre otras cosas, a que los análisis en el estudio según las técnicas AFM no reproducen el entorno *in vivo*.

Una consecuencia de la impredecibilidad sería la dificultad de llevar a cabo una reducción teórica al estilo nageliano (Nagel 1961, 443-520). Como quiera que las leyes establecidas sobre las regularidades observadas en los niveles superiores están basadas en datos modelizados, estas serán a su vez leyes simplificadas y por consiguiente *leyes-modelo*. Por tanto, y de igual forma que los estados de diferente nivel no son comparables, las leyes de distinto nivel tampoco lo serán, lo que implica una imposibilidad en la práctica de realizar la reducción teórica. Sin embargo, esta afirmación no es una renuncia a un reduccionismo teórico, sino a su puesta en práctica habida cuenta de la inexactitud de las leyes superiores. No se puede establecer una identidad entre una ley inexacta y una exacta. Sin embargo, no hay ninguna razón, más allá de la afirmación de la emergencia, que impida deducir una ley de un nivel superior a partir de leyes de niveles inferiores siempre y cuando se dispusiera de la capacidad suficiente. No obstante, es cierto que salvo algún éxito parcial, esta forma de reducción no ha dado los resultados esperados. La idea de leyes-puente que conecten leyes inferiores con leyes superiores parte de una dificultad de planteamiento que tampoco puede resolverse con la corrección de Schaffner (Schaffner 1974, 617-618), como ya señalaron Kuhn o Feyerabend (Rosenberg 2007, 350).

### *b) Novedad cualitativa*

El aspecto de la novedad cualitativa, a pesar de ser el más diferenciador de la emergencia, es quizá el más sencillo de explicar desde un enfoque reduccionista. Cada intervalo de cuasi-descomponibilidad proporciona una perspectiva diferente, y las propiedades de cada uno de

los niveles las describimos desde esa óptica. Por ejemplo, una molécula de  $H_2O$  viene determinada por la configuración electrónica de sus hidrógenos y su oxígeno, que se encuentran en un nivel inferior. Pues bien, al nivel de la molécula se pueden observar ciertas propiedades *novedosas* que no pueden tildarse de cualitativamente novedosas pues son deducibles desde sus componentes. La «forma» de la molécula o su polaridad son propiedades del intervalo y son perceptibles solo a ese nivel. Además, hay que considerar que al tiempo que *aparecen* estas propiedades *desaparecen* las propias de los átomos individuales, sin que esto parezca ser un problema para el emergentismo. Si introducimos una segunda molécula de óxido de hidrógeno y las aproximamos lo suficiente como para que puedan interactuar veremos que pueden bien formar un enlace covalente coordinado dando como resultado un ion hidronio ( $H_3O^+$ ) y un ion hidróxido ( $OH^-$ ), bien atraerse formando una unión débil llamada enlace de hidrógeno ( $H_2O$ )<sub>2</sub> o bien no interactuar. De nuevo hay novedades, tanto objetos (hidronio e hidróxido), como propiedades (atracción electrostática), pero ambas explicables desde las propiedades del intervalo inferior.

Demos un salto cuantitativo, y consideremos una cantidad superior a 10.000 de nuestras moléculas, número aproximado para que se manifiesten las propiedades del agua (Park 2013). Ahora no hay disyunción y pueden darse todas las situaciones anteriores al mismo tiempo. Además, una vez que una molécula adquiere uno de los estados, influye en el estado de las adyacentes dándose un proceso dinámico inducido. Nuestro nuevo  $\epsilon_i$  nos sitúa en un nivel en el que el observador es del tamaño del total de las moléculas y su capacidad de observación le impide distinguir su individualidad y por tanto sus cualidades microscópicas. No obstante, observa sus consecuencias, como que esta sustancia se distribuye superficialmente ocupando todo el recipiente que lo contiene, a lo que denomina *ser un líquido*. Esto se corresponde con las moléculas formando enlaces de hidrógeno de manera que en vez de comportarse individualmente lo hacen como grupos y necesitan un nivel energético más elevado para escapar las unas de las otras y ocupar todo el volumen que las contiene, algo que nuestro observador llamaría *ser un gas*. Desde esta perspectiva se percibirá además que la superficie libre tiene cierta resistencia a ser penetrada, lo que denomina *tensión superficial*. Una tercera observación es la que se refiere a la cantidad de iones hidronio e hidróxido presentes, para lo que se introduce una magnitud a la que denomina pH y que no es sino una valoración promedio de la cantidad de iones hidronio presentes. Así, el ser líquido, la tensión superficial y el pH son propiedades que *aparecen* a partir de cierta cantidad de moléculas pero que son la consecuencia previsible de las características del nivel de organización previo. De aquí que no se pueda hablar de si una sola molécula de agua es líquida o gaseosa, del mismo modo en que no se podría hablar de si un determinado volumen de agua es o no líquido si el observador es del tamaño de una sola molécula, o al igual que en el ejemplo de Simon no se podía concretar la temperatura de un cubículo conociendo la de la casa, ni conocer la existencia de la casa desde el cubículo. Por esto, proponemos denominar a estas propiedades como *propiedades de nivel*, las cuales se manifiestan solo en un determinado intervalo sin acumularse. Así, si bien podría considerarse similar a la idea de emergencia de Mario Bunge quien afirma que una propiedad emerge cuando ninguno de sus componentes la posee (Bunge 2004, 32) se diferencia de esta postura en tanto en cuanto el filósofo argentino aboga por «*la imposibilidad de comprender una totalidad a través del análisis de sus componentes y sus interacciones*» (2004, 19).

### c) *Restricción o realizabilidad múltiple*

Klee (Klee 1984, 54) apuntaba el enfoque de Paul Weis (Weiss 1970), quien decía que si tenemos un sistema  $S$  formado por  $N$  partes y analizamos la variación-fluctuación de cada una de estas partes la variación del sistema es mucho menor de lo que se esperaría en función de las variaciones parciales. Esta idea es similar a la de las condiciones de contorno de Polanyi y las variantes ya citadas de Pattee y Rosen. Sin embargo, considerando el enfoque aquí planteado, esta restricción del nivel superior que se manifiesta en una aparente realizabilidad múltiple, resulta un mero artefacto de la simplificación hecha al considerar un intervalo de cuasi-descomponibilidad superior eliminando la distinción de los intervalos inferiores. Al observar solo ciertas características y de forma promediada, resulta evidente habrá menos descripciones macro que micro.

En el caso del agua líquida denominamos igual a muchos estados de ese conjunto de moléculas que sin ser exactamente los mismos, a nivel del observador se comportan como si lo fueran. Además, en función de la elección del  $\epsilon$ , no haremos distinción ni siquiera de su composición. Si estamos describiendo el movimiento superficial de una masa de agua, nos dará igual de qué tipo de agua hablemos, pero si lo que consideramos es su cualidad de calmar la sed, sí haremos esta diferencia distinguiendo entre dulce y salada. En el caso más complejo de una molécula de hemoglobina, denominamos por igual a un amplio conjunto de moléculas composicional y estructuralmente diferentes que sin embargo cumplen *solo* cualitativamente la función de transportar oxígeno. La hemoglobina humana, solo en su cadena  $\beta$  tiene 261 variedades, y si bien todas ellas cualitativamente intervienen en la captación y transporte del oxígeno, lo hacen de forma cuantitativamente diferente, bien aumentando, bien disminuyendo la afinidad por éste. A esto hay que añadir que muchas de ellas difieren en propiedades cualitativas. Por ejemplo, en la variedad Rothschild, el pequeño cambio del triptófano de la posición 38 de la cadena  $\beta$  conlleva una rotación del tetramero, ajuste que afecta a la cooperatividad, disminuyendo drásticamente su afinidad por el oxígeno y, como añadido, determina un sitio de unión para el anión cloruro en la zona de contacto entre las cadenas  $\alpha 1$  y  $\beta 2$  que implica una sensibilidad a la concentración de dicho anión que interfiere en la estabilidad de la molécula (Kavanaugh et al. 1992, 11).

Klee recurre (Klee 1984, 56) a la superveniencia de Jaegon Kim (Kim 1978) para rebatir la idea de la realizabilidad múltiple, sin embargo no cree que a los defensores de la restricción les preocupe esta explicación, pues tras su argumento subyace la idea de retro-control propio de la causación descendente. Tampoco Kim cree que la idea de superveniencia explique la emergencia de forma suficiente, pues la propia superveniencia es en sí misma inexplicable. «*La conclusión es que la condición superveniencia en la emergencia simplemente equivale a la afirmación de que existe una covariación en principio inexplicable entre las propiedades supuestamente emergentes y sus propiedades de base*» (Kim 2006, 555-556)

### d) *Causación descendente*

Por último, e íntimamente ligado con la *marca* anterior, encontramos la causalidad descendente y, más generalmente la causalidad intranivel, considerada por Kim como la esperanza del emergentismo, que «*no puede vivir sin la causación descendente, pero tampoco con ella. La causación descendente es la "raison d'être" de la emergencia, pero bien puede llegar a ser lo que al final la socave*» (Kim 2006, 548). Amparada en este concepto se encuentra la idea de retrocontrol de los niveles superiores ya citada de Polanyi y su importante derivación de la

autopoiesis, así como, al menos parcialmente, la explicación por mecanismos y la intuitiva idea científica de la búsqueda de la causación en los niveles inferiores.

Un aspecto evidente de la causalidad es que las causas anteceden a sus consecuencias, por lo que éstas deben encontrarse en la línea de tiempo pasado de su efecto. Así una situación temporalmente determinada de un nivel fundamental  $F_0$  estará causada por otra previa  $F_{-1}$ . Si nuestra elección del criterio de cuasi-descomponibilidad nos hace estar analizando el fenómeno desde el nivel macroscópico, veremos que la situación  $M_0$  está causada por una previa  $M_{-1}$ . Lo mismo nos valdría para cualquier nivel mesoscópico  $m_n$ . Como quiera que la situación  $F_0$  y  $M_0$  mantienen entre sí una relación de identidad, sus causas  $F_{-1}$  y  $M_{-1}$  también serán idénticas y por lo tanto no se puede hablar de causación internivel, ni ascendente ni descendente al no poder ser algo causa de sí mismo. Sin embargo, la idea de causalidad intranivel es muy fuerte (Craver y Bechtel 2007, 547) y esta intuición debe poder explicarse a fin de eliminar la subyacente circularidad de las causas.

Si observamos la causalidad de un acontecimiento A desde dos niveles distintos, y estamos interesados en la relación intranivel, es comprensible que analicemos aspectos diacrónicos como si fueran sincrónicos. Supongamos que queremos analizar la causa de  $M_0$  en un nivel inferior, como quiera que esta situación es idéntica a  $F_0$ , su verdadera causa es la situación  $F_{-1}$  que se corresponde con  $M_{-1}$ . Pero al no considerar el  $dt$  transcurrido es fácil *mezclar* la explicación causal y la relación de identidad internivel y observar que  $F_{-1}$  *causa aparentemente*  $M_0$ . Igualmente se puede tener la sensación de que  $M_0$  mantenga una relación de condicionante sobre sí misma visualizada como nivel microscópico, sin embargo, por la misma razón anterior, esto solo podría entenderse aparentemente sobre una situación micro posterior, y por lo tanto existir una causación descendente aparente entre  $M_0$  y  $F_{+1}$ .

En la siguiente ilustración las flechas continuas simbolizan la causalidad intranivel, micro o macro, mientras que las flechas discontinuas refieren la aparente causalidad internivel, bien ascendente, bien descendente.

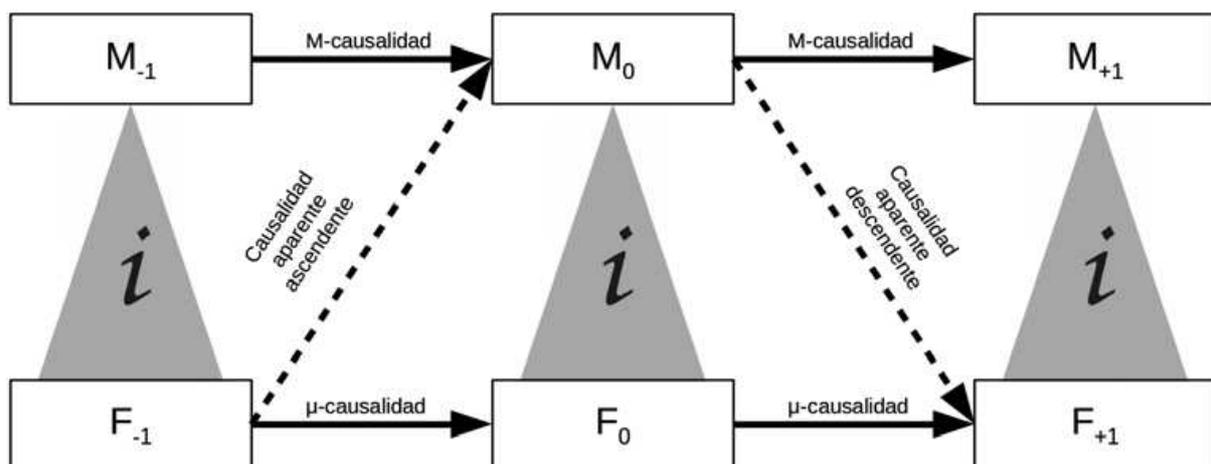


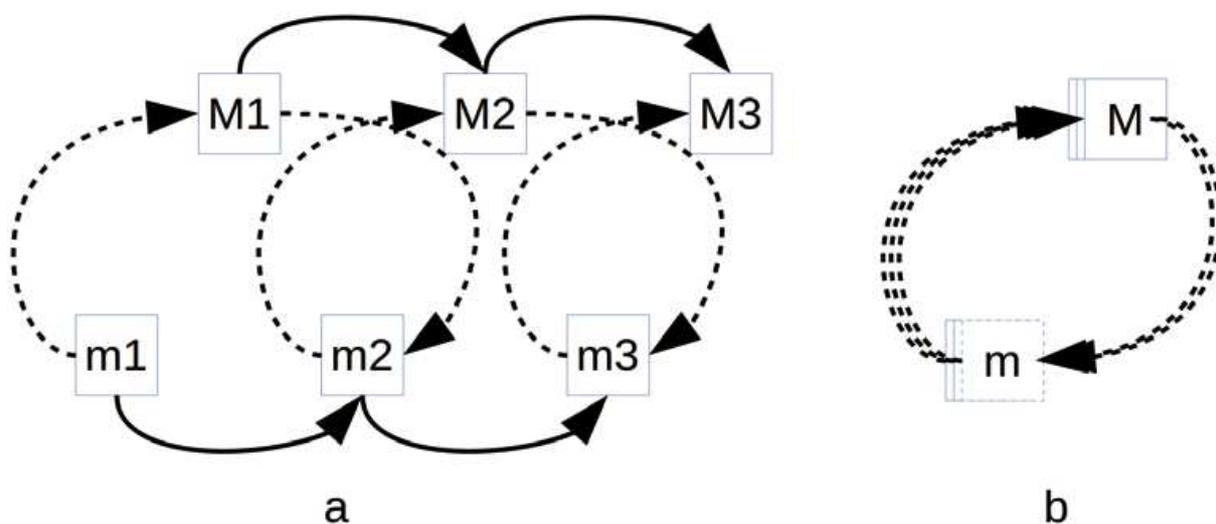
Ilustración 3. Macro-causalidad, micro-causalidad y causación internivel aparente. El cono gris representa la restricción y la letra  $i$  la relación de identidad entre niveles

Así podemos explicar sencillamente la sensación de las causas subyacentes. Pensemos en la parte eléctrica de un coche híbrido. La intuición nos dice que este vehículo se mueve por la

acción del motor eléctrico, lo que entendemos claramente como una causación ascendente. Según dónde situemos nuestro  $\varepsilon_p$ , podemos estar observando este coche desde un nivel en el que lo apreciamos completamente o desde otro en el que observamos sus componentes, como la batería o el alternador, sin visualizarlo por completo. En un momento inicial, tendremos un estado macro con su correspondiente estado micro. Si en un momento  $t_1$ , se produce un cambio en la batería, esto producirá una modificación en los demás componentes que observada desde el nivel macro consiste en el desplazamiento del coche. Si hacemos un análisis internivel, dará la sensación de que este cambio ha producido el movimiento del coche, pero si no cambiamos el nivel de observación, veremos bien a) la disposición de las piezas en  $t_0$  da lugar a la disposición de las piezas en  $t_1$ , bien b) el coche en  $t_0$  da lugar al coche desplazado en  $t_1$ .

De igual manera, intuimos que es el movimiento del coche lo que genera la electricidad que hace que el motor funcione. Aparentemente es una causación descendente, pero podemos explicarla de idéntica manera. Ahora nos fijamos en cómo cambia el alternador entre  $t_1$  y  $t_2$ , algo que observado desde el nivel del coche nos dará los estados 1 y 2. Si hacemos la misma observación cruzada, parecerá que el movimiento del coche (cambio  $1 \rightarrow 2$ ) es el que modifica el alternador.

Cuando combinamos ambas observaciones, vemos que la batería inicia el movimiento, el movimiento carga el alternador y el alternador carga la batería, da la sensación de mecanismo cíclico, cuando en realidad es una espiral diacrónica a modo de volutas de avance temporal. Al no percibir claramente los diferenciales de tiempo queda la sensación de circularidad propia la idea de cierre causal.



*Ilustración 4. En a) se representa la causalidad cruzada entre niveles considerando el avance temporal tomando esta relación forma de voluta, mientras que en b) se elimina la referencia temporal tomando forma de ciclo con apariencia de causalidad descendente*

El ejemplo anterior es muy sencillo, pero susceptible de complicarse. De igual manera que hemos descompuesto el coche en alternador y batería, podríamos descomponer cada uno de ellos en sus sub-componentes. La elección del criterio de cuasi-descomponibilidad podría ser, por ejemplo,  $\varepsilon = \{\text{componentes de una pieza}\}$ , que iríamos agrupando modularmente

o no (Simon 1962, 470). Más complicado, pero posible, es relacionar el comportamiento monógamo del ratón de campo con la densidad de receptores de vasopresina y oxitocina en las regiones subcorticales pálido ventral y núcleo accumbens (Churchland 2012, 62). En el caso anteriormente citado de la titina y la relajación muscular, los científicos se refieren a ella en forma de causalidad. Si una persona muere por un problema cardíaco relacionado con la relajación del miocardio, diremos que la causa de la muerte ha sido una malfunción de la titina, aunque se trata de una relación de causalidad ascendente aparente. El cambio de la titina entre  $t_0$  y  $t_1$  se observa como un cambio en el estado del sarcómero de  $t_0$  a  $t_1$  que, escalando niveles, veríamos como un cambio entre el individuo en  $t_0$  a  $t_1$  estando primero vivo y después muerto.

Este ejemplo sería similar al propuesto por Craver y Bechtel para dar una explicación mecanística de la causación internivel pero sin causa internivel (Craver y Bechtel 2007). Sin embargo ellos distinguen entre un ataque al corazón y una infección provocada por un virus, (2007, 456-457) al determinar que tanto el hospedador como huésped son individuos del mismo nivel aunque de diferente tamaño. Desde el punto de vista aquí desarrollado, no hay diferencia entre el virus, el sarcómero y demás componentes moleculares. El virus no interacciona con el organismo sino con ciertas moléculas, y una vez que lo hace, forma parte del mismo sistema y se debe considerar como un componente más. El enfoque de Craver y Bechtel no explica la integración del ADN vírico en los genomas de las células parasitadas cuando estos llevan a cabo un ciclo lisogénico que no se reactiva. También se podría considerar un medicamento como un individuo en el sentido que interacciona con la persona de la misma forma que el virus. Un león no interacciona con una población de cebras, sino con una cebra.

## 5. Conclusiones

A lo largo de este trabajo, se ha desarrollado un análisis de los cuatro pilares que sostienen la doctrina de la emergencia desde su origen a su resurgimiento en el último tercio del siglo xx. Más de 100 años que se pueden resumir en las citadas impredecibilidad, novedad, restricción y causalidad descendente. Desde su primer desarrollo formal la emergencia ha estado vinculada a los niveles de organización y desde la perspectiva de establecer un criterio para determinar dichos niveles, es desde donde hemos pretendido explicarla. La ampliación de la cuasi-descomponibilidad de Simon y la idea de identidad entre niveles, más allá de la de composición que propone el mecanicismo, ayuda a establecer el nivel de estudio, y a definir la ciencia encargada de ellos en función del interés investigador. Por tanto afirmamos que la emergencia puede usarse *exclusivamente* con un enfoque heurístico.

Para un fin eminentemente práctico, bastaría con el establecimiento de leyes fenomenológicas, para lo cual estudiaríamos exclusivamente el *nivel de nuestro interés*, tratándolo como una caja negra, tomando únicamente las entradas y salidas de las variables escogidas y estableciendo leyes-modelo de ese nivel. Sin embargo, si además pretendemos *explicar* dichos fenómenos, resulta necesario indagar en los niveles subyacentes, lo que conlleva abrir esas cajas. La ventaja derivada del conocimiento de los niveles superiores facilita la elección de las variables para establecer un modelo, y por consiguiente establecer mejor las leyes-modelo de ese nivel.

Para satisfacer la necesidad de explicación, es decir, para aclarar cómo funciona un sistema formado por niveles de subsistemas anidados, resulta útil y aclaratorio recurrir a un tipo de explicación que trate a sus elementos *como* componentes mecánicos. Un *mecanosistema*<sup>3</sup> será, por tanto, el conjunto de cajas que una ciencia encuentra al abrir la caja de su nivel y las relaciones establecidas entre ellas. Estas cajas están delimitadas por el criterio de cuasi-descomponibilidad inmediatamente inferior demarcado por la ciencia en cuestión. Estos mecanismos tendrán a su vez sub-mecanosistemas, cajas dentro de las cajas, que podrán abrirse para analizar su interior, recursivamente hasta llegar al nivel F. Igualmente, el sistema desde el cual partíamos será a su vez una caja dentro de otras que forman la caja M. El uso de mecanosistemas como recurso explicativo tiene varios aspectos a desarrollar, como la naturaleza de sus componentes, sus límites, el grado de simplificación, la asunción de pérdidas, su representación, etc.

Por último vale la pena remarcar la necesidad de establecer dos líneas de investigación diferentes. Por una parte, la necesidad de resultados prácticos inmediatos da pie a no descender demasiados niveles y a centrar la búsqueda de resultados en la evidencia. Por otra parte, el hecho de entender los mecanismos últimos de los fenómenos nos ayuda a afinar los resultados evitando efectos indeseados originados en el tratamiento fenomenológico del problema, algo demasiado frecuente, por ejemplo en la medicina. Por lo tanto, a pesar de esta practicidad, no hay que renunciar al descenso en busca de la explicación en el nivel F.

## REFERENCIAS

- Alegre-Cebollada, Jorge, Pallav Kosuri, Jason Feng, Anna Kaplan, Alvaro Inglés-Prieto, Carmen L. Badilla, Jose M. Stockwell, Arne Holmgren, Fernández, y Brent R. Sánchez-Ruiz. 2012. Protein Folding Drives Disulfide Formation. *Cell*, n.º 151: 794-806.
- Alexander, Samuel. 1920. *Space, Time, and Deity. Vol 2*. London: Mcmillan.
- Baylis, Charles A. 1929. The Philosophic Functions of Emergence. *The Philosophical Review* 38 (4): 372-84.
- Blitz, David. 1992. *Emergent Evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality*. Springer-Science + Business Media, B.V.
- Broad, Charlie D. 1925. *The Mind and Its Place in Nature*. London: Routledge.
- Bunge, Mario. 1973. La metafísica, epistemología y metodología de los niveles. En *Las estructuras jerárquicas*, editado por Lancelot Law Whyte, Albert G. Wilson, y Donna Wilson. Madrid: Alianza Universidad.
- . 2004. *Emergencia y convergencia*. Barcelona: Gedisa.
- Campbell, Donald T. 1974. Downward Causation in Hierarchically Organized Biological Systems. In F. Ayala and T. Dobzhansky (eds.), *Studies in the Philosophy of Biology, Berkeley, University of California Press*, 179-86.
- Campbell, Richard J. y Mark H. Bickhard. 2011. Physicalism, emergence and downward causation. *Axiomathes*, n.º 21: 33-56.
- Churchland, Patricia S. 2012. *El cerebro moral. Lo que la neurociencia nos cuenta sobre la moralidad*. Barcelona: Paidós.
- Craver, Carl F. y William Bechtel. 2007. Top-Down causation without top-down causes. *Biology and Philosophy* 22: 547-63.
- Dirac, Paul A. 1929. Quantum mechanics of many-electron systems. *Proceedings of the Royal Society of London A* 123: 714-33.

<sup>3</sup> Lo denominamos mecanosistema para distinguirlo del mecanicismo clásico.

- Emmeche, Clauss, Simo Köppe y Frederik Stjernfelt. 1997. Explaining Emergence: Towards an Ontology of Levels. *Journal for General Philosophy of Science* 28: 83-119.
- Etxeberría, Arantza y Jon Umerez. 2006. Organismo y organización en la Biología Teórica: ¿Vuelta al organicismo? *Ludus vitalis* XIV (14): 3-38.
- Garrison, Fielding H. 1922. *Historia de la medicina. Tomo II*. Madrid: Calpe.
- Glennan, Stuart S. 1996. Mechanisms and the Nature of Causation. *Erkenntnis* 44: 49-71.
- Hervás, Manuel y José A Navarro. 2011. Transferencia electrónica al fotosistema I: in vivo versus in vitro. En *Actas del XXXIV Congreso SEBBM*, p, 89. Barcelona.
- Kauffman, Stuart A. 1993. *Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press.
- Kavanaugh, J.S., P.H. Rogers, D.A. Case y A. Arnone. 1992. High-resolution X-ray study of deoxyhemoglobin Rothschild 37 beta Trp-Arg: a mutation that creates an intersubunit chloride-binding site. *Biochemistry* 31(16): 4111-21.
- Kekes, John. 1966. Physicalism. The identity theory and the doctrine of emergence. *Philosophy of Science* 33: 360-75.
- Kim, Jaegwon. 1978. Supervenience and nomological incommensurables. *American Philosophical Quarterly* 15: 149-56.
- . 2006. Emergence: Core ideas and issues. *Synthese* 151: 547-59.
- Klee, Robert. 1984. Micro-Determinism and Concepts of Emergence. *Philosophy of Science* 51: 44-63.
- Lewes, George Henry. 1874. *Problems of Life and Mind, first series, 2 vols*. London: Truebner & Co.
- . 1877. *Problems of Life and Mind, second series*. Boston: J. R. Osgood.
- López Corredoira, Martín. 2004. Contra el libre albedrío en el marco de las Ciencias Naturales contemporáneas. *Thémata, revista de Filosofía*, n.º 32: 227-305.
- Machamer, Peter, Lindley Darden y Carl F. Craver. 2000. Thinking about Mechanisms. *Philosophy of Science* 67 (1): 1-25.
- Maturana, Humberto, y Francisco Varela. 1973. *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Editado por Editorial Lumen. 2ª Edición. 1993. Buenos Aires.
- Mayr, Ernst. 2005. *Así es la biología*. Barcelona: Debate.
- . 2006. *Por qué es única la biología*. Buenos Aires: Katz.
- Meehl, Paul E. y Wilfrid Sellars. 1956. The concept of emergence. En *Minnesota studies in the philosophy of science*, editado por Herbert Feigl y Michael Scriven, pp. 239-52. University of Minnesota Press.
- Mill, John Stuart. 1843. *A system of logic: ratiocinative and inductive*. [8th, 1872] ed. London: Longmans, Green, Reader, and Dyer.
- Mitchell, Sandra D. 2012. Emergence: logical, functional and dynamical. *Synthese* 185: 171-86.
- Morgan, C. Lloyd. 1923. *Emergent evolution*. Editado por Williams y Norgate. 2º edition (1927). London.
- Nagel, Ernest. 1961. *La estructura de la ciencia*. Editado por Paidós. 1.ª ed. 2006. Barcelona: Surcos.
- O'Connor, Timothy. 1994. Emergent Properties. *American Philosophical Quarterly*, n.º 31: 91-104.
- Park, Jeong-Hyuck. 2013. How many is different? Answer from ideal Bose gas. *Journal of Physics*. arXiv:1310.5580.
- Pattee, Howard H. 1971. Physical theories of biological co-ordination. *Quarterly Reviews of biophysics* 4 (2-3): 255-76.
- . 1982. Cell Psychology: An Evolutionary Approach to the Symbol-Matter Problem. *Cognition and brain theory* 5(4): 325-34.
- Penrose, Roger. 1991. *La nueva mente del emperador*. Barcelona: Grijalbo.
- Pepper, Stephen C. 1926. Emergence. *Journal of Philosophy*, n.º 23: 241-45.
- Piironen, Tero. 2014. Three Senses of «Emergence»: On the Term's History, Functions, and Usefulness in Social Theory. *Prolegomena: časopis za filozofiju* 13(1): 141-61.
- Polanyi, Michael. 1968. Life's Irreducible Structure. *Science, New Series*, 160 (3834): 1308-12.
- Rosenberg, Alex. 2007. Reductionism in Biology. En *Philosophy of Biology*, editado por Dov M. Gabbay, Paul Thagard, y John Woods, pp 349-68. Amsterdam: Elsevier.

- Rosen, Robert. 1985. *Anticipatory Systems*. Oxford: Pergamon Press.
- Schaffner, Kenneth. 1974. Reductionism in Biology. *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 1974: 613-32.
- Silberstein, Michael, y John McGeever. 1999. The Search for Ontological Emergence. *The Philosophical Quarterly* 49 (195): 182-200.
- Simon, Herbert A. 1962. The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society* 106 (6): 467-82.
- Spaulding, Edward G. 1912. *The New Realism: Cooperative Studies in Philosophy*. New York: The Macmillan Company.
- . 1918. *The New Rationalism: The Development of a Constructive Realism upon the Basis of Modern Logic and Science Through the Criticism of Opposed Philosophical Systems*. New York: H. Holt and Company.
- Weiss, Paul. 1970. The living system: determinism stratified». En *Beyond Reductionism*, editado por Smythies y Koestler, 3-55. New York: The Macmillan Company.
- Wimsatt, William C. 2000. Emergence as Non-Aggregativity and the Biases of Reductionism. *Foundations of Science* 5 (3): 269-97.

**EMILIO CÁCERES VÁZQUEZ.** Es licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid, en Ciencias Ambientales por la UNED y máster en Filosofía Teórica y Práctica por la UNED. Actualmente está elaborando su tesis doctoral sobre Propiedades Emergentes. Es autor de varios libros de texto y de ensayo y profesor de enseñanza secundaria y de formación profesional.

**DIRECCIÓN:** Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia, UNED, Senda del Rey 7, 28040 Madrid, Spain. Email: emiliocaceres@epifumi.com

**CRISTIAN SABORIDO.** Profesor del departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia de la UNED. Doctor en Filosofía por la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. Especializado en Filosofía de la Ciencia, Filosofía de la Biología, Filosofía de la Medicina y Bioética. Autor de varias publicaciones en estas áreas en diversas compilaciones y revistas internacionales de investigación.

**DIRECCIÓN:** Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia, UNED, Senda del Rey 7, 28040 Madrid, Spain. Email: cristian.saborido@fsof.uned.es

**13.2 ¿Realmente mató la bacteria al coronel?: Perspectiva sistémica, causación internivélica e intervalos de cuasi-descomponibilidad en las explicaciones mecanísticas, (2018). Emilio Cáceres y Cristian Saborido. *Theoria*, 33(1), 129-148.**



**¿Realmente mató la bacteria al coronel?  
Perspectiva sistémica, causación internivélica e intervalos  
de cuasi-descomponibilidad en las explicaciones mecanísticas\***

*(Did the bacterium really kill the colonel?*

*Systemic view, inter-level causation, and levels of quasi-decompositionality in mechanistic  
explanations)*

Emilio CÁCERES VÁZQUEZ y Cristian SABORIDO

Recibido: 03/11/2017

Versión final: 23/01/2018

BIBLID 0495-4548(2018)33:1p.129-148

DOI: 10.1387/theoria.18295

**RESUMEN:** En este trabajo analizamos críticamente el enfoque mecanicista de explicación científica y proponemos complementar esta perspectiva con una concepción de nivel como intervalo de cuasi-descomponibilidad que nos permite fundamentar metafísicamente las propuestas mecanicistas clásicas en las propiedades sistémicas características de las entidades que se trata de explicar. A través del análisis de ejemplos concretos, demostraremos cómo nuestra propuesta permite superar algunas de las limitaciones de los enfoques predominantes de explicación mecanística.

**Palabras clave:** Mecanicismo, explicación científica, intervalos de cuasi-descomponibilidad, causalidad, perspectiva sistémica.

**ABSTRACT:** In this paper, we critically analyze the mechanistic approach to scientific explanation and propose to complement this view with a conception of level as interval of quasi-decompositionality. This conception allows us to metaphysically base the mechanistic proposals on characteristic systemic features. By means of concrete examples, we claim that this proposal is able to overcome some of the alleged limitations of predominant models of mechanistic explanation.

**Keywords:** Mechanicism, scientific explanation, intervals of quasi-decompositionality, causality, systemic view.

---

\* Queremos agradecer las críticas y sugerencias aportadas por dos revisores anónimos de THEORIA, así como a la audiencia del *II Seminario de investigación en nuevas corrientes en filosofía de la biología y de la medicina*, celebrado en la UNED, Madrid, el 27 de mayo de 2017. Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación «Mecanismos en las ciencias: de lo biológico a lo social» (FFI2017-89639-P).



## 1. Introducción

El concepto de mecanismo es clave para comprender ontológicamente y explicativamente los fenómenos observables (Kuhlmann y Glennan 2014, 337). Esto es algo especialmente patente en las posturas actuales de campos de la filosofía de la ciencia, como la filosofía de la biología, la filosofía de la tecnología o la filosofía de las ciencias sociales. Los principales postulantes de las explicaciones mecanicistas afirman que en ámbitos científicos se considera «hacer ciencia» al hecho descubrir y describir mecanismos (Machamer *et al.* 2000, 2) y, aunque siempre hay críticos a esta postura (véase Dupré 2013), hay un sólido consenso acerca de que la explicación por mecanismos es la mejor forma de explicación científica (Levy 2013, 100).

No obstante, es importante señalar que no hay en el debate filosófico actual una definición única de mecanismo, sino varias descripciones distintas de lo que, en principio, parecía una intuición clara para los científicos. Esta intuición podría expresarse diciendo que un mecanismo sería, en su sentido más general, *un conjunto de partes que interactúan entre ellas para dar lugar a un fenómeno*.Cuál es la naturaleza de estas partes, cómo se asocian para formar un conjunto o qué tipo de interacción establecen entre sí son cuestiones abiertas que admiten tantas interpretaciones como postulantes.

En este trabajo analizaremos estas cuestiones y propondremos un nuevo enfoque mecanístico para abordarlas. En primer lugar, se ofrecerá un análisis crítico de la formulación más influyente del mecanicismo actual, la propuesta original de Machamer, Craver y Darden (Machamer *et al.* 2000), así como del posterior desarrollo llevado a cabo principalmente por Craver (2006 y 2007). Tras esto, se mostrará cómo esta formulación puede complementarse con una nueva propuesta que interpreta los niveles de un sistema como intervalos de cuasi-descomponibilidad (Cáceres y Saborido 2017) y que tiene implicaciones para la interpretación de las nociones de mecanismo y de causación internivelica. A lo largo de este trabajo, desarrollaremos algunos ejemplos concretos de explicación de fenómenos biológicos<sup>1</sup>, a fin de ver cómo esta propuesta puede servir al mecanicismo para dar respuesta a algunos de sus aspectos más problemáticos.

## 2. El enfoque mecanicista: partes, actividades e interacciones

Probablemente, la propuesta más significativa dentro del mecanicismo sea la desarrollada en el artículo germinal del denominado Nuevo Mecanicismo: *Thinking about Mechanisms*, de Peter Machamer, Lindley Darden y Carl F. Craver<sup>2</sup> y en los trabajos posteriores de Craver.

<sup>1</sup> Como bien nos ha señalado un revisor anónimo de THEORIA, los fenómenos biológicos tienen características diferenciadoras de los no biológicos, muchos de los cuales son también objeto de explicaciones mecanísticas. Sin embargo, son los ejemplos biológicos los que predominan ampliamente en los trabajos que conforman el actual mecanicismo (véase Machamer *et al.* 2000), (Bechtel y Abrahamsen 2005) o (Wright 2012), entre muchos otros). En todo caso, aunque los casos concretos que se exponen en este trabajo pertenecen principalmente al ámbito biológico, creemos que la propuesta que ofrecemos es válida para una reformulación general de las explicaciones mecanísticas.

<sup>2</sup> En adelante denominaremos a esta propuesta MDC. Aunque existen otras propuestas de carácter similar pero con diferencias considerables, como las de Stuart Glennan (Glennan 1996, 2002) o William Bechtel (Bechtel y Abrahamsen 2005) (Bechtel y Richardson 1993), es en MDC en donde se presentan las líneas principales que conformarán el marco explicativo mecanicista desde entonces.

Para MDC un mecanismo estaría formado por entidades y actividades organizadas que son productoras de cambio (Machamer *et al.* 2000, 3). Esta definición general es adoptada por todas las posturas mecanicistas. Glennan afirma que un mecanismo subyacente a un comportamiento es un sistema complejo que produce tal comportamiento por interacción de un número de partes de acuerdo con leyes causales directas (Glennan 1996, 52). Bechtel propone que un mecanismo es una estructura que desempeña una función en virtud de sus componentes, operaciones componentes y su organización. El funcionamiento orquestado del mecanismo es responsable de uno o más fenómenos (Bechtel y Abrahamsen 2005, 423-24).

Por lo tanto, un presupuesto básico del mecanicismo es la postulación de la existencia de *partes* discretas, es decir, objetos reales como moléculas o células en los cuales es posible descomponer un sistema más o menos complejo. Los mecanicistas consideran que para poder identificar partes genuinas de un sistema basta con encontrar entidades componentes del mismo que tengan unas características estables, sean físicamente detectables mediante diferentes métodos, se puedan usar para intervenir en otros procesos, sean fisiológicamente plausibles y sean relevantes para explicar el fenómeno (Craver 2006, 371).

Un segundo aspecto a tener en cuenta es que, además de considerar que las partes son entidades reales y diferenciadas, MDC da la misma consideración ontológica a las *actividades*, adoptando de este modo una postura claramente dualista frente a posiciones sustantivistas como las de Bechtel (Bechtel y Richardson 1993) o Cartwright (Cartwright 1994) o de los ontologistas de procesos como Rescher (Rescher 1996)<sup>3</sup>. Para MDC un sistema puede descomponerse en partes y actividades, siendo las actividades lo que las partes hacen y lo que las engarza entre sí conformando un mecanismo. En otras palabras, es la relación entre partes establecida a través de sus actividades lo que conforma la organización de un sistema, y esta organización es explicable en términos mecanísticos.

El tercer aspecto que emana de la definición de mecanismo es el referido al tipo de *interacción* entre las entidades. Las explicaciones en términos de mecanismos hacen referencia a la relación causal entre las partes y sus actividades. Aunque no hay un consenso claro entre los mecanicistas acerca de cómo debe entenderse la causalidad<sup>4</sup>, puede defenderse que el enfoque causal del mecanicismo parte del enfoque de Wesley Salmon (Salmon 1994) y Phil Dowe (Dowe 2000) de las cantidades conservadas y de la perspectiva manipulacionista de James Woodward (Woodward 2003) y su interacción etiológica ideal.

El cuarto y último aspecto general del mecanicismo hace referencia también a la *organización*, concretamente a la estructura jerárquica presente en muchos de los sistemas estudia-

<sup>3</sup> Stuart Glennan, otro filósofo del neo-mecanicismo, contrasta la caracterización ontológica de las actividades de MDC con su propio enfoque (Glennan 1996) y el de Bechtel y Richardson (1993) claramente sustantivistas. Kuhlmann y Glennan apuntan (2014, 340) que este dualismo podría tener sentido para aclarar que no se puede hacer referencia solo a las partes, a pesar de sugerir una independencia implausible entre entidades y actividades. Aun así, le resta importancia por ser una idea no desarrollada posteriormente, a pesar de seguir siendo la base de la definición de mecanismo en los trabajos más recientes de Craver (2007, 64, 171, 177, 189), (Craver 2013, 7).

<sup>4</sup> El desacuerdo emana del tratamiento óntico concreto de las actividades que se plantea MDC. Aunque autores como Kuhlmann y Glennan (2014, 340) tratan de minimizar la importancia de este desacuerdo, autores como Craver (2007, 64, 171, 189) han insistido en el mismo reivindicando sus implicaciones para la interpretación de la validez y el alcance del mecanicismo.

dos por los científicos, que permite identificar diferentes niveles de organización de la materia y es fundamental en las actividades llevadas a cabo por él. La clave es que cada elemento componente de un mecanismo puede ser a su vez otro mecanismo y, por lo tanto, estaría igualmente formado por elementos organizados que interaccionan entre sí de forma causal directa. Consecuentemente, sería posible descomponer un mecanismo en otros mecanismos, lo que introduce en el marco mecanicista la idea de nivel.

Los mecanicistas insisten en resaltar que los mecanismos son, sobre todo, herramientas conceptuales que han de servir para la explicación de los fenómenos y, por lo tanto, han de permitirnos abordar características del fenómeno a explicar. Cuando los científicos apelan a mecanismos están siempre eligiendo un nivel concreto de organización. Es decir, dentro de la jerarquía anidada de un sistema, se escoge el nivel más pertinente para abordar el fenómeno que se quiere explicar y se apela a los mecanismos, sus elementos y sus relaciones causales que se localizan a este nivel. En la siguiente sección, abordaremos con mayor detalle esta idea de nivel y sus implicaciones para el marco mecanicista.

### 3. *La idea de nivel en el mecanicismo y las explicaciones de los fenómenos biológicos*

#### 3.1. LOS NIVELES DE NATURALEZA

Un aspecto clave para poder definir un mecanismo es el criterio que se adopta para la elección de las entidades concretas en las que poder descomponer un sistema y, consecuentemente, el concepto de nivel de organización de la materia que este criterio implica.

Craver distingue entre *elementos de ciencia* y *elementos de naturaleza* (Craver 2007, 171). Dentro de los elementos de ciencia (análisis, descripciones, teorías) sitúa los niveles clásicos que Oppenheim y Putnam establecieron en 1958 y la versión «afinada» de Wimsatt (1976, 253), esto es, partículas elementales, átomos, moléculas, células, seres vivos multicelulares y grupos sociales (Oppenheim y Putnam 1958, 9).

En los niveles de naturaleza, Craver agrupa aquellos elementos que describen ítems del mundo (actividades, entidades, propiedades y estados), y los distingue en tres clases: causales, de tamaño y de composición. Los niveles causales hacen referencia a relaciones de causa y efecto entre elementos, como la regulación del metabolismo. Los niveles de tamaño apelan a la dimensionalidad de los componentes, tal y como hace, por ejemplo, el modelo de Churchland y Sejnowski (1988, 741-42). El tercer y último grupo es el de niveles de composición, que a su vez se va a dividir en cuatro subtipos: mereológico, de agregatividad, de mera contención espacial y de mecanismo. El primero de ellos sería el enfoque más reduccionista, pues implica la inexistencia de propiedades emergentes. Craver descarta su validez explicativa en campos en los que su asunción de la existencia de propiedades emergentes es indiscutible, como la neurobiología<sup>5</sup>. En segundo lugar, la referencia de Craver a niveles de agregatividad, esto es, niveles en los que sus componentes no tienen ninguna relación entre ellos más que los de acumular cantidad, se basa principalmente en las condiciones expuestas por Wimsatt, esto es, intersustitución, escala de tamaño, descomposición y reagregación y linealidad (Wimsatt 1997, S376). En tercer lugar, identifica lo que denomina niveles de

<sup>5</sup> La asunción del principio emergentista clásico «[...] los mecanismos son siempre literalmente más que la suma de sus partes» (Craver 2007, 185-86) es significativa del enfoque del autor.

mera contención material/espacial para referirse a la división de un todo, más que en partes que actúan de forma interrelacionada, en particiones arbitrarias, como sería la división de un puzle en piezas. Esta división resulta inútil desde una perspectiva explicativa, pero le sirve para poner de manifiesto la necesidad de un análisis *top-down* previo a la «decisión» de una división con sentido explicativo. Por último, Craver se centra en los niveles de mecanismos, la división más pertinente desde un punto de vista científico y explicativo y que va a defender como la base de la explicación mecanicista.

La explicación por mecanismos se utiliza de forma habitual dentro de la biología para la elucidación de la forma en la que transcurren las interacciones entre moléculas y agrupaciones de éstas, especialmente dentro del campo de la biología molecular y de la fisiología celular. De hecho, muchos de los ejemplos a los que aluden los mecanicistas son ejemplos de mecanismos biológicos, como el mecanismo de la visión o el de la sinapsis neuronal<sup>6</sup>.

Uno de los ámbitos preferidos por los mecanicistas y especialmente por Craver es el de la neurobiología. En su análisis de cómo funcionan las explicaciones neurobiológicas, Craver ve una defensa clara de su propuesta mecanicista. Así, considerando las características propias del sistema neuronal, Craver afirma que la mejor opción para dar cuenta de los fenómenos neurológicos es la de descomponer el sistema neuronal en niveles de composición, pero no con base simplemente espacial o material, sino en niveles que supongan una identificación de mecanismos concretos (Craver 2007, 189).

Estos niveles mecanísticos estarían formados por *entidades* y *actividades* que cumplen dos condiciones. Por una parte son composicionales, pero no simples niveles de tamaño que pueden alojar regularidades. Por otra, Craver destaca que estos niveles no están formados por objetos pasivos correspondientes a entidades clásicas, sino por objetos actores. Considerando una sinapsis neuronal, una división clásica distinguiría dos neuronas, entendiendo la brecha interneuronal como una separación entre componentes, mientras que el enfoque mecanístico entiende la porción terminal de la neurona pre-sináptica, la hendidura y la porción inicial de la neurona post-sináptica como un mecanismo. Resulta así evidente que el mecanicismo supone una visión enfocada a la función (véase Garson 2013). Craver cree que es mejor hablar de jerarquías particulares en vez de estructuras anidadas generales pues, según su propuesta, solo puede decirse que dos objetos forman parte del mismo nivel si son componentes del mismo mecanismo, es decir, si contribuyen a la misma función (Craver 2007, 192-93), (véase, también, Craver 2001).

### 3.2. LA CAUSACIÓN INTERNIVÉLICA

Un mecanismo se puede descomponer en componentes que se consideran del mismo nivel, pero al descomponerlos de nuevo nos encontramos con la postulación de nuevos niveles. Una de las cuestiones centrales del mecanicismo es clarificar si se da una relación causal no solo entre elementos de un mismo nivel a través de un mecanismo, sino también entre me-

<sup>6</sup> Además de esta abrumadora presencia de ejemplos biológicos en los trabajos mecanicistas, en muchos de estos trabajos también se han presentado casos relativos a otros ámbitos, como los ejemplos de mecanismos en el mundo cuántico (Kuhlmann y Glennan 2014) y a nivel poblacional y social (Hedström y Ylikoski 2010). En este artículo nos centraremos en los casos biológicos, sin pensar por ello que las observaciones que aportamos no puedan ser extrapoladas a las explicaciones basadas en mecanismos para otras ciencias (véase Steel 2007).

canismos que son localizables en diferentes niveles. Craver y Bechtel (2006) han abordado esta problemática cuestión de la causación internivelica y han propuesto una solución a la misma que se basa en tres puntos (Craver y Bechtel 2006, 550).

Por una parte, Craver y Bechtel distinguen la cuestión de la causación internivel de la relación causal entre entidades de diferente tamaño. Según lo explicado arriba, las relaciones causales entre las partes se establecen por su pertenencia a un mismo mecanismo y los componentes de un mismo mecanismo pertenecen consecuentemente a un mismo nivel, por lo que hablar de relación internivel entre mecanismos diferentes o entre componentes de esos mecanismos carece de sentido. La única relación posible entre niveles es de constitución, es decir, mecanismos y elementos de un nivel más bajo *componen* los mecanismos de niveles más altos.

En segundo lugar, Craver y Bechtel afirman que los niveles están definidos contextualmente, lo mismo que las ciencias, insistiendo en que no hay razón por la que una categoría ontológica, como las moléculas, no pueda interactuar con otra, como las células, aun cuando su categorización se haya hecho siguiendo criterios distintos.

Para finalizar, Craver y Bechtel intentan compatibilizar su enfoque mecanístico con la emergencia de propiedades. Para ellos, los niveles superiores son siempre explicables en términos de mecanismos. En contraposición, consideran que solamente sería *fuertemente emergente* aquel fenómeno que no puede explicarse por mecanismos, incluso aunque emerja de la organización de un mecanismo (Craver y Bechtel 2006, 551). Sin embargo, afirman que lo fuertemente emergente emana de una consideración de nivel caracterizada por no ser de tipo constitutivo, y que por lo tanto no se correspondería con la concepción de nivel por ellos defendida. Además, afirman que la idea de la causación internivel con respecto al surgimiento de propiedades emergentes es diferente de la causación descendente en propiedades *mundanas*, por lo que creen que pueden desvincular la idea de emergencia de la de causación descendente (Craver y Bechtel 2006, 550). Craver y Bechtel consideran que esta interpretación de la relación internivelica se corresponde con el pensamiento científico. Afirman explícitamente que la forma de trabajar de los científicos tiene mucho que ver con la consideración de la causalidad internivel, pues estos diseñan los experimentos buscando la correlación entre micro-estructuras y macro-funciones (Craver y Bechtel 2006, 553).

El enfoque mecanicista ha sido profusamente criticado por distintas razones por autores como Barberis (2012), Levy (2013) o Wright (2012), entre otros. En este trabajo no se pretende hacer una nueva crítica a este modelo explicativo, sino tratar de fortalecerlo contrastando dicho enfoque con nuestro trabajo previo (Cáceres y Saborido 2017), ofreciendo una alternativa sólida a las formulaciones predominantes del mecanicismo.

El mecanicismo en sus formulaciones predominantes tiene una ambición claramente epistemológica o explicativa (Levy 2013, 100), y por ello sacrifica la adecuación óptica en favor de la comprensión. Tal y como puede verse en los trabajos de Craver, la definición de niveles de mecanismo está basada más en la pertinencia explicativa con respecto a los intereses del investigador que en las propiedades organizacionales de los sistemas cuyos fenómenos se pretende explicar. Sin embargo, cabe preguntarse si un modelo explicativo adecuado para las ciencias biológicas no debería realmente partir de la concreción de la naturaleza de la materia biológica, por lo que una adecuada definición de nivel que tenga en cuenta las propiedades distintivas de los sistemas biológicos sería clave para el correcto desarrollo de una idea de mecanismo apropiada para la biología.

En la siguiente sección mostraremos cómo el enfoque mecanicista puede verse enriquecido si se cuenta con un criterio para la compartimentación de la materia de forma que de-

finas niveles y entidades y que, a partir de ahí, permita desarrollar un modelo explicativo basado en entidades que se comportan como mecosistemas<sup>7</sup>.

#### 4. Mecosistemas, intervalos de cuasi-descomponibilidad y explicación mecanicista

##### 4.1. INTERVALOS DE CUASI-DESCOMPONIBILIDAD COMO NIVELES DE ORGANIZACIÓN

En sus pioneros trabajos en teoría de la complejidad, Herbert Simon distinguió dos tipos de sistemas en función de las relaciones entre sus subsistemas, denominando sistemas descomponibles a aquellos en los que las relaciones entre sus subsistemas eran claramente distinguibles y sistemas cuasi-descomponibles («*nearly-decomposable systems*» en su terminología) a los que dichas relaciones eran no tan claramente discernibles si bien no despreciables (Simon 1962, 473). Estos últimos se caracterizan en que a corto plazo el comportamiento de sus subsistemas es *aproximadamente independiente* entre sí, mientras que a largo plazo dependen solo de forma agregativa.

Para ilustrar esta distinción, Simon propuso un ejemplo basado en la existencia de un sistema aislado que podía descomponerse o no en subsistemas anidados (Simon 1962, 474)<sup>8</sup>. La clave del ejemplo de Simon, y de la comprensión de la dicotomía descomponible/cuasi-descomponible, es la arbitrariedad de la elección. Simon hablaba de una casa perfectamente aislada dividida en habitaciones bien aisladas subdivididas a su vez en cubículos mal aislados en cuyo interior existía un termómetro. La clave de este ejemplo estaba en que, partiendo de una situación de desequilibrio térmico y pasado un tiempo, la uniformización de la temperatura iría haciendo innecesarios los termómetros, pudiendo eliminar primero los de los cubículos y después los de las habitaciones, bastando finalmente con uno que marcara la temperatura de toda la casa (Simon 1962, 474).

Como ya se señaló en (Cáceres y Saborido 2017, 95), el problema de este ejemplo radica en que es imposible extrapolarlo al mundo natural, pues en él nos hemos de enfrentar con la inexistencia de sistemas aislados. De hecho, ni siquiera el planeta Tierra es un sistema aislado que pueda considerarse como un sistema descomponible<sup>9</sup>. Parece más bien que el mundo natural debe entenderse como un continuo material que podemos cuasi-dividir en componentes anidados en base a ciertos criterios de cuasi-descomponibilidad. Paul Weiss lo expresaba así:

Para mí, como observador de la naturaleza, el universo se presenta a modo de un inmenso continuo cohesivo. Sin embargo, por lo común no lo vemos así. Estamos acostumbrados a mirarlo

<sup>7</sup> Para no dar lugar a confusiones y colaborar a la proliferación de más interpretaciones de la palabra mecanismo (Levy 2013), en este trabajo se va a utilizar el término mecosistema, ya introducido en (Cáceres y Saborido 2017). Además, tal y como se explicará, este término de mecosistema nos ayudará a remarcar las diferencias entre nuestra concepción de mecanismo de la propuesta por MDC y otros autores afines.

<sup>8</sup> Este ejemplo se analiza detalladamente en (Cáceres y Saborido 2017, 94).

<sup>9</sup> Esto también afecta al criterio de descomponibilidad que proponen Bechtel y Richardson y en el que basan su propuesta mecanicista: «*si el grado de integración entre los componentes de un todo no anula a los componentes como entidades autónomas, el resultado es una jerarquía parte-todo descomponible*» (Bechtel y Richardson 1993, 28). Quizá sería una propuesta teóricamente válida para un criterio de cuasi-descomponibilidad, pero no de descomponibilidad.

como un conglomerado de fragmentos regulares. Este hábito deriva en parte de la herencia biológica, que lleva a enfocar las cosas, tales como presas, enemigos u obstáculos, como necesidad vital; en parte procede de la tradición cultural, y también de la curiosidad, que dirige nuestra atención e interés hacia «objetos» limitados. Éstos pueden consistir en conjuntos bien delimitados en nuestro campo visual, en series repetidas de sonidos en el canto de los pájaros, la música o la voz humana, o en procesos de modelo regular, como las ondas. Lo que atrae nuestra atención es su aparición reiterada en forma constante y duradera: al menos se mantiene lo suficiente o se repiten en nuestra experiencia lo bastante a menudo para merecer un nombre, en contraposición a las constelaciones que les rodean, mucho menos regulares y más fugaces, a las cuales, en contraste, llamamos «fondo». (Weiss 1970, 7)

Simon introdujo en su propuesta la consideración de un valor  $\varepsilon$  que *decidimos arbitrariamente* y que nos sirve como delimitador<sup>10</sup>. Es evidente que si cambiamos el valor de  $\varepsilon$  o *criterio de cuasi-descomponibilidad* podríamos afirmar que uno u otro subsistema es cuasi-descomponible. De igual manera, si en vez de utilizar un solo criterio, usamos dos,  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$ , tendremos la distinción entre dos subsistemas cuasi-descomponibles anidados.

Siguiendo con el ejemplo de Simon, podríamos elegir diferentes  $\varepsilon_n$  según el subsistema al que nos queramos referir, que nos diferenciarían cubículos, habitaciones y casas. Así tendríamos que cada subsistema cuasi-descomponible estaría delimitado por dos  $\varepsilon_n$  y sería definible por lo que podríamos llamar *intervalos de cuasi-descomponibilidad*<sup>11</sup>,  $I_{(i,j)} = [\varepsilon_i, \varepsilon_j]$ . Con esta nomenclatura, tendremos cubículos o  $I_{(0,1)} = [\varepsilon_0, \varepsilon_1]$ , habitaciones o  $I_{(1,2)} = [\varepsilon_1, \varepsilon_2]$  y casas o  $I_{(2,3)} = [\varepsilon_2, \varepsilon_3]$ . Todos serían sistemas cuasi-descomponibles y por tanto se influyen de forma no despreciable.

Otra característica notable del sistema de Simon es que evoluciona hacia un equilibrio, algo que difícilmente ocurrirá mientras existan generadores de desigualdad. En el ejemplo de la casa ocurrirá si introducimos radiadores en los cubículos. En este caso se establecería un equilibrio dinámico de manera que habrá un gradiente térmico centrado en los radiadores<sup>12</sup>. Por lo tanto, dentro de esta diferencia, la decisión de instalar un solo termómetro, bien en una habitación, bien en una vivienda, etc, es una decisión arbitraria dependiente del interés del observador. Resulta evidente que esta decisión tendrá como consecuencia la *pixelación* de la temperatura, con la pérdida de información que esto supone. Dependiendo del foco del análisis, el píxel será más o menos grande, provocando una uniformización de la temperatura y un efecto de parcelación del continuo material. La decisión puede ser útil, pero no inocua, y las consecuencias pueden ser más o menos importantes, pero no nulas. En el caso real del control térmico de una casa, la práctica de situar un solo termostato tiene la consecuencia de crear un gradiente térmico en el interior de la casa. El único lugar en el que podemos asegurar la temperatura programada es justo donde esté situado el termostato.

Podrá resultar útil considerar que la vivienda es un píxel de una temperatura concreta pero es evidente que no es real. Vale la pena hacer el esfuerzo de trasladar este ejemplo de Si-

<sup>10</sup> Es interesante señalar que este valor podría coincidir con la autonomía de Bechtel y Richardson (1993, nota 9).

<sup>11</sup> En adelante ICD.

<sup>12</sup> En un sistema aislado, cuando existe un generador de desigualdad se llegaría a una situación de equilibrio térmico al alcanzar la casa la temperatura de los radiadores. Si el sistema fuera cuasi-descomponible la vivienda tendría pérdidas y no *moriría* por calor, formando un sistema alejado del equilibrio. Gracias a Daniel Ruiz-Castillo por esta observación.

mon al mundo real, es decir, considerar cómo se comporta la temperatura en casas reales. Si analizamos la casa desde el exterior y ampliamos aún más el foco, a una ciudad por ejemplo, vemos que la influencia de cada cubículo es muy pequeña, pero no es despreciable, pues aunque es una cantidad mínima comparada con la procedente del sol, es la responsable de que la temperatura en los pueblos sea sensiblemente mayor que en una zona deshabitada. Por lo tanto, la segunda condición de Simon para los sistemas cuasi-descomponibles, «a largo plazo, el comportamiento de cualquiera de los componentes depende únicamente de modo agregativo del comportamiento del resto de los componentes» (Simon 1962, 474), no se satisface cuando observamos una versión realista de su ejemplo paradigmático, pues en este caso los sistemas siguen generando desigualdad.

Consciente de que este era el caso también para los sistemas naturales, Simon propuso (Simon 1962, 475) aplicar un criterio  $\epsilon$  basado en la diferencia energética entre enlaces covalentes y débiles para determinar la (des)composición de la materia. De esta manera, en función del valor de  $\epsilon$  elegido, podemos parcelar el continuo material. Para un valor de  $\epsilon$  justo por debajo del valor energético del enlace covalente, estableceremos que las moléculas son sistemas cuasi-descomponibles, mientras que aquellas uniones basadas en enlaces más débiles, como los enlaces por puente de hidrógeno, son interacciones intermoleculares. Consecuentemente, consideramos el  $H_2O$  como una molécula, mientras que la interacción entre varios hidrógenos y oxígenos por enlaces covalentes y de hidrógeno  $(H_2O)_n$  se ven comúnmente como simples conjuntos de moléculas y no como macromoléculas.

Partiendo de esta idea, podemos dividir la materia en niveles en función de nuestra elección del criterio de cuasi-descomponibilidad. Así, en función de  $\epsilon_n$  habrá un «nivel fundamental apromblemático» en términos de (Machamer et al. 2000, 13) o microscópico  $F^{13}$ , un nivel macroscópico  $M$  y múltiples niveles mesoscópicos anidados  $m_1, m_2, \dots, m_n$ .

Comenzando en los átomos<sup>14</sup>, éstos tienen ciertas propiedades debidas a su composición cuantitativa que determinan la forma en la que combinan entre sí. Una de ellas, predominante en la materia viva, es la unión covalente<sup>15</sup> que forma las moléculas. A esta escala, esta unión es lo suficientemente estable como para considerar la energía necesaria para romperlos un nuevo criterio de cuasi-descomponibilidad y, a fin de cuentas, un nuevo nivel, el molecular. A partir de aquí, las relaciones entre moléculas, fuerzas intermoleculares, ión-ión, ión-dipolo, ión-dipolo inducido, hidrofóbicas y de van der Waals, conforman un nuevo plano. La interacción hidrofóbica entre ciertos lípidos da lugar a la membrana plas-

<sup>13</sup> Por nivel F se entiende el nivel de las partículas fundamentales descritas por la Física, nivel que es considerado habitualmente como el nivel último que constituye la base para un reduccionismo ontológico. Actualmente el Modelo Estándar de Partículas considera que existen dos tipos de partículas, leptones y quarks, que carecen de estructura interna, por lo que se consideran partículas verdaderamente fundamentales. Además de MDC, quienes consideraban este nivel como «apromblemático», también Glennan (1996, 50) hizo referencia a este nivel fundamental y ha trabajado en la compatibilización del nivel cuántico con las explicaciones mecanísticas (Kuhlmann y Glennan 2014). Desde la Física, Roger Penrose (1991, 374-75) aclara la diferencia entre el nivel cuántico y el clásico, señalando explícitamente que las dificultades de la Física actual no suponen realmente un reto para el enfoque reduccionista.

<sup>14</sup> Por economía de espacio, comenzamos la exposición en el nivel atómico, pero igualmente podríamos partir de leptones y quarks y, pasando por hadrones, llegar a los átomos. Las fuerzas nuclear fuerte, residual y débil serían nuestros  $\epsilon_n$ .

<sup>15</sup> Las uniones iónicas y metálicas son igualmente explicables en función de sus propiedades.

mática, «frontera» que marca los límites de las células presentes en todos los sistemas vivos. Consecuentemente, la fuerza de las interacciones hidrofóbicas puede resultar un buen criterio de cuasi-descomponibilidad que delimite un nuevo nivel. Pero ahora el límite del ICD determina un borde que contiene en su interior una gran cantidad de moléculas de diferente naturaleza que interactúan gracias a las fuerzas anteriormente citadas. Dentro de las células existen compartimentaciones basadas en membranas, los orgánulos, pero debido a que no existen en todos los tipos de células es preferible usarlo como un subnivel.

Escalando niveles, las células se unen (uniones estrechas, de adherencia, desmosomas, hemidesmosomas o uniones *gap*) dando lugar a diferentes estructuras, bien de células similares, bien diferentes, forman agrupaciones que cuentan con una barrera delimitadora. Esta barrera podría ser un nuevo criterio de cuasi-descomponibilidad y determinar el nivel de organismo. Un nivel formado por individuos del mismo tipo, el nivel de población, y uno superior formado por individuos de diferente tipo, incluyendo materia inerte, daría lugar al nivel de ecosistema, al de bioma y al de biosfera. Entre niveles se podrían establecer las divisiones clásicas, como tejidos, órganos, aparatos, entre el nivel de organismo y el celular u orgánulos y macromoléculas, entre el celular y el molecular, con el fin de afinar el nivel de estudio.

De esta partición longitudinal de la materia se sigue que la relación entre los subsistemas superiores y los inferiores es simplemente composicional y, por lo tanto, la relación entre dos niveles diferentes es de *identidad*. Por tanto, un bioma *es* un conjunto de ecosistemas, un ecosistema un conjunto de poblaciones, una población un conjunto de individuos, un individuo un conjunto de células, una célula un conjunto de moléculas, una molécula un conjunto de átomos y un átomo un conjunto de partículas elementales. El individuo *es* un punto intermedio de un conjunto de sistemas cuasi-descomponibles anidados.

Ahora bien, ¿cómo decidimos cuál es el subsistema relevante para la investigación? Resulta evidente que la elección de estos  $\varepsilon_i$  implica un sesgo observacional basado en un análisis top-down previo. Podríamos eliminar, o cuando menos minimizar, este sesgo estableciendo un nivel arbitrario pero sin observación previa proponiendo, por ejemplo, un nivel cada ciertas unidades de intensidad de interacción, pero esto conduciría a una división probablemente muy poco útil, equiparable a la de los niveles de mera contención material/espacial de Craver (2007, 187-88).

Una vez definidos los ICD, la disciplina encargada de su estudio debe realizar una descripción del objeto que pretende explicar acorde a lo observable desde ese nivel, demarcando así los límites del *sistema* que va a considerar (véase Cáceres y Saborido 2017, 97). Cada ciencia estudiará su propio intervalo y se encargará de describirlo estructural y funcionalmente<sup>16</sup>, distinguiéndolo así de su entorno y del resto de intervalos. Esta descripción debe hacerse en función de la metodología de la ciencia en cuestión e implica normalmente una terminología propia. Es decir, cada ciencia se centra en las propiedades detectables

<sup>16</sup> Esta distinción entre los aspectos estructurales y los funcionales merece un tratamiento teórico independiente. Efectivamente, ciertos sistemas, tales como los biológicos, muestran características diferenciadoras que van más allá de las meramente estructurales (agradecemos a un revisor anónimo de THEORIA el que nos señalase este punto). Aunque esto supera los objetivos de este trabajo, podemos adelantar que nuestra propuesta sería que las actividades biológicas, las funciones, emanan de la estructura y, por lo tanto, dependen en último término de esta. Cómo la noción de función biológica puede ser abordada desde la perspectiva de los ICD es el objeto de una ulterior investigación.

desde su nivel mediante sus métodos de investigación<sup>17</sup>. Por lo tanto, tratará su intervalo tomando solo aquellos *inputs* y *outputs* que considere necesarios para la finalidad del estudio, estableciendo un sistema modelo y haciendo una simplificación heurística de la realidad por razones pragmáticas. Las leyes científicas que actúan a cada nivel serían las regularidades detectadas durante la descripción de los sistemas que podrán o no ser catalogadas como leyes.

Esta modelización implica una simplificación que se amplifica conforme ascendemos de nivel. Los píxeles determinados al elegir un nivel de observación pueden resultar suficientemente útiles desde cierta distancia, pero no es cuestionable el hecho de que restan resolución. Así, en el estudio que hace Craver de la liberación de neurotransmisores mediada por calcio (Craver 2007, 22), se toma en consideración la concentración de cationes calcio, pero no la de sodio y potasio, responsables de la despolarización-repolarización de membrana que producen la liberación de calcio. Esta selección de los elementos que forman el sistema introduce sesgos que alteran los resultados, lo que conlleva asumir que, a la hora de introducir generalizaciones, éstas serán igualmente inexactas<sup>18</sup>, aunque lo suficientemente aproximadas para ser prácticas y permitir la explicación y la predicción.

#### 4.2. ENTIDADES-SISTEMA CON PROPIEDADES

Ya hemos señalado que la definición dual de mecanismo, que considera la existencia tanto de entidades como de actividades, es clave para el posterior desarrollo del modelo de MDC, y probablemente uno de sus puntos más susceptibles a la crítica. La idea de nivel como ICD implica que solo las entidades tienen adecuación óptica, además de la innecesaria explicativa de considerar ópticamente a las actividades. Solo las entidades del nivel F tienen propiedades no descomponibles que se deben a su propia naturaleza, mientras que las entidades resultantes de la elección de un criterio de cuasi-descomponibilidad tendrán un conjunto de *propiedades de nivel*<sup>19</sup> resultantes de la simplificación realizada. Así, tendremos entidades-sistema con propiedades de nivel. De esta manera se engloba el enfoque de *entidad* que Kuhlmann y Glennan consideran común al Nuevo Mecanicismo. Para ellos las entidades son partes reales, posicionándose en un punto de vista perspectivista en el que destacan el *para qué* del mecanismo (Kuhlmann y Glennan 2014, 339).

Si una entidad de un mecanismo es una parte *real* y *relativamente estable* (Glennan 2008, 378), no es sencillo justificar su descomposición en otras partes igualmente reales y relativamente estables ¿Qué criterio seguimos para descomponer un sistema? Como veremos en este apartado, el enfoque basado en la cuasi-descomponibilidad entiende las partes de un sistema solo como *arbitrariamente estables* y puede facilitar resolver el problema de la descomposición mecánica.

<sup>17</sup> Esta división en niveles estaría catalogado en la taxonomía de Craver (2007, 171) como un nivel de ciencia, pues los niveles así descritos son evidentemente un constructo epistémico, de la misma forma que lo son el de Oppenheim y Putnam o el de Wimsatt. Sin embargo, los propios niveles de mecanismos propuestos por Craver son también del mismo tipo, pues las entidades y las actividades que constituyen sus mecanismos, especialmente estas últimas, son también construcciones teóricas.

<sup>18</sup> Debido a esto se dan excepciones, fenómeno que Glennan achaca al entorno (Glennan 2008, 378).

<sup>19</sup> Estas propiedades son consideradas tradicionalmente como propiedades emergentes, cfr. (Cáceres y Saborido 2017, 101)

De esta forma, tendremos por tanto que los átomos son sistemas del nivel atómico con propiedades de nivel derivables de las de sus elementos constituyentes. Dentro de estas propiedades podemos observar, por ejemplo, la electronegatividad (tendencia a ganar o perder electrones que proporciona una mayor estabilidad) o el radio iónico (radio del átomo tras ganar o perder electrones). Así, el neón tendrá propiedades cuantitativamente diferentes de las del flúor y de las del sodio. De estas propiedades dependerá el comportamiento de un elemento. Como consecuencia, en función de su electronegatividad un átomo ganará electrones, y por tanto se reducirá, o los perderá, oxidándose. Así, el flúor tenderá a captarlos, el sodio a cederlos y el neón a quedarse como está. En una situación sin injerencias, el flúor no se oxidará ni el sodio se reducirá, por lo que no se puede desvincular la acción de la propiedad y por lo tanto de la entidad. Si siguiéramos el modelo teórico propuesto por MCD, parecería que no hay conexión entre actividades y entidades y tanto el flúor como el sodio podrían oxidarse o reducirse. A esta independencia implausible se refieren Kuhlmann y Glennan cuando tildan de *escalofriante* este dualismo (Kuhlmann y Glennan 2014, 340).

Relacionado con esto, otro problema del enfoque mecanicista es el la subdivisión de las actividades. Los niveles de mecanismos parecen afectar solo a las entidades, de forma que las actividades, a pesar de tener para los autores adecuación óptica, parecen flotar entre niveles sin ser descomponibles en ninguno de ellos.

Asimismo, la asunción de adecuación óptica de las entidades también puede cuestionarse, pues solo el nivel más fundamental parece independiente de los intereses investigadores del observador. Por esta razón consideramos más adecuado hablar de entidades-sistema. Cada una de estas entidades-sistema interactúa con otras del mismo nivel en base a sus propiedades de nivel configurando un mecanosistema que visto desde la perspectiva superior supone una entidad-sistema del siguiente nivel.

Una posible crítica a este enfoque es la que presupone la necesidad de un análisis top-down previo para identificar las funciones. MCD (Machamer *et al.* 2000, 4) asumen esto, de forma similar a como hicieron los emergentistas británicos Samuel Alexander (Alexander 1920, 328) o C. Lloyd Morgan (Morgan 1923, 5). Esto supone conocer mediante la experiencia previa qué acciones llevan a cabo unas entidades concretas, en lugar de deducir las actividades a partir de las propiedades. Sin embargo, esta es una cuestión derivada principalmente del foco de interés del investigador. Al estudiar un aspecto fisiológico determinado, lo primero que hacemos es definir el objeto de estudio para posteriormente investigar hacia abajo. Pero no es por la imposibilidad de llegar a una conclusión escalando niveles, sino porque buscamos explicar algo relevante para nuestro interés. Esta relevancia *a priori* es también clave al considerar principales o secundarias las funciones de un mismo órgano. Pensemos, por ejemplo, en un músculo. A nivel molecular, por no profundizar más, la interacción entre actina, miosina, titina y demás, como proteínas estructurales del sarcómero, y de las enzimas involucradas, como las ATPasas, dan lugar, desde una perspectiva superior, a un acortamiento del sarcómero, pero también a una producción de calor. Es más, ni siquiera la generación de calor del músculo es una actividad única, sino la suma de los calores de reposo, de activación, de acortamiento, de recuperación y de relajación, producidos en diferentes reacciones, como la actividad de la bomba Na-K, la liberación de calcio, etc. (Michael y Sircar 2012, 84). La misma actividad molecular que produce la contracción conlleva el calor muscular. Solo el enfoque *a priori* determina la relevancia, y es la razón de la necesidad del análisis *top-down* previo.

#### 4.3. INTERACCIÓN ENTRE ELEMENTOS DE DIFERENTE TAMAÑO

Un aspecto interesante derivado de la división de la materia mediante ICDs es la imposibilidad de interacción entre entidades de diferente nivel. Desde esta perspectiva, la interacción entre entidades-sistema se hace exclusivamente en el nivel fundamental. Aunque resulte muy intuitivo decir que, en la sinapsis neuronal, el  $\text{Ca}^{2+}$  interacciona con la calmodulina, podemos observar como lo hace solo con ciertos componentes de ésta, pasando a formar parte de una nueva entidad-sistema, el complejo calcio-calmodulina, composicionalmente novedoso y estructuralmente diferente.

En uno de sus ejemplos más llamativos, Craver explicaba el proceso según el cual un virus entra en contacto con nada menos que un general del ejército (Craver y Bechtel 2006, 556). Es cierto que el ejemplo de Craver sigue una forma de hablar común y entendible. Parece evidente que cuando alguien dice algo como «*Obama está manteniendo conversaciones con Cuba*» puede entenderse que en realidad quiere decir «*Obama ha conversado con Raúl Castro*». Sin embargo, esta forma de hablar puede encubrir los procesos causales que ocurren realmente. El virus no interactúa con el general, del mismo modo que Obama no interactúa con Cuba. En realidad, son los átomos de las proteínas superficiales del virus los que entran en contacto con los átomos del glucocalix de las membranas de las células superficiales de la persona. La descripción de los casos biológicos que se suele hacer desde el mecanicismo deja ver un problema respecto a los criterios para decidir qué elementos forman un sistema y cuáles están fuera de él formando un entorno.

Por ejemplo, cuando el calcio está separado de la calmodulina resulta evidente que desde la perspectiva molecular no forman parte del mismo sistema. Pero, una vez unidos, y a pesar de no ser una unión covalente, la formación de un complejo de coordinación es claramente más fuerte que los enlaces débiles habituales, por lo que se podría considerar un nivel intermedio. Además, en estado de reposo, existe una alta concentración de complejo calcio-calmodulina (Latorre 1996, 156) por lo que no está nada claro que se pueda hablar del calcio como extrasistémico. Del mismo modo, la distinción que hace Craver entre el corazón y un virus como intrasistémico y extrasistémico a la hora de hablar de la causa de la muerte de una persona se difumina cuando consideramos la forma de actuar de algunos virus. El caso del virus del herpes simple es aclarador. Tras una primera infección, el ADN viral permanece en el núcleo de las neuronas afectadas reactivándose a lo largo de los años. Otros virus se integran en el ADN del hospedador dividiéndose con él y, en el caso de darse en células de la línea germinal, pudiéndose transmitir a la descendencia en forma de elemento viral endógeno para reactivarse después. En ambos casos, hablar de intra y extrasistémico es claramente arbitrario.

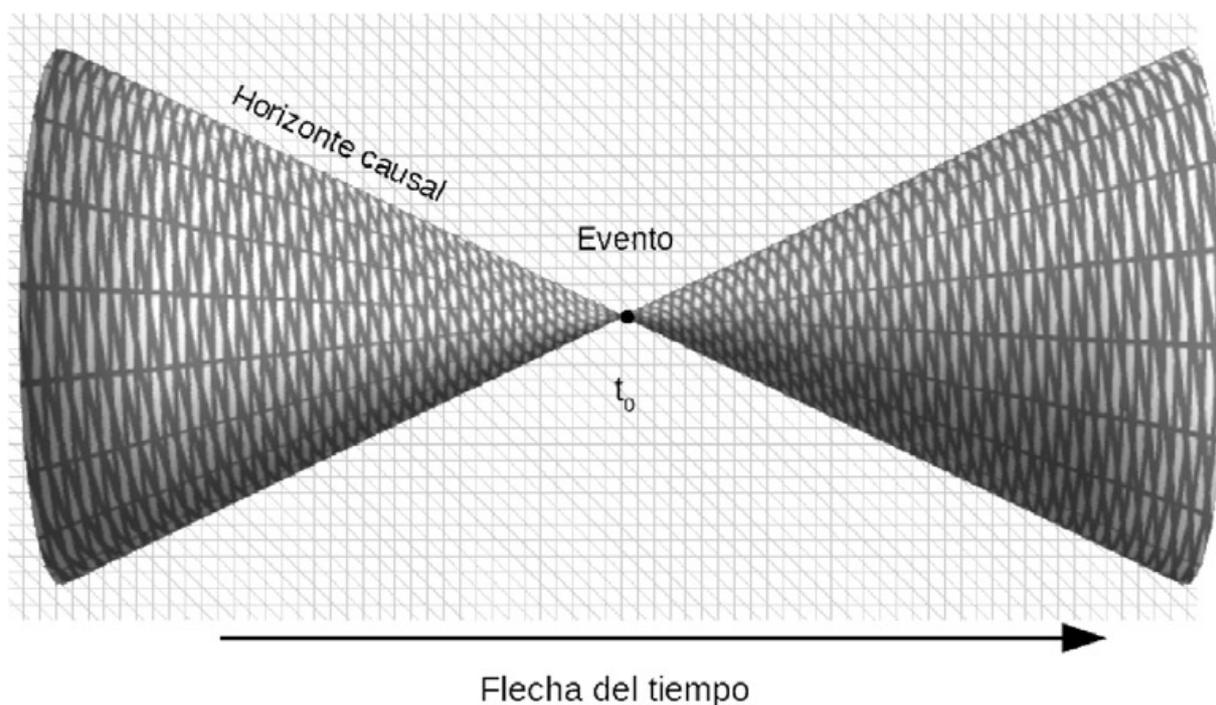
#### 4.4. CAUSACIÓN INTERNIVEL

El enfoque manipulacionista de Craver es perfectamente entendible desde su perspectiva explicativa, no obstante, desde el enfoque aquí presentado, necesita algún comentario.

La visión *salmoniana* de líneas de mundo con un valor no nulo de una cantidad conservada y de la intersección de éstas formando *redes de mundo* es perfectamente válida siempre y cuando nos movamos en el nivel fundamental. Pero las simplificaciones hechas al determinar sistemas en los diferentes niveles introducen errores acumulados que dificultan la detección de los nodos. Estos cruces dejan de ser un punto para ser un conjunto de ellos tratado como si lo fueran. Cuanto más nos alejemos, más difusas serán las líneas y los nodos.

Resulta evidente que la idea de interacción etiológica ideal y de manipulacionismo son tremendamente prácticas cuando se trata de establecer la causalidad de un fenómeno concreto, generalmente una función. El problema es que puede limitar la investigación al basarse en una decisión a priori. Sin este aspecto teleológico, la red de líneas de mundo previa a un momento no tiene nexos más relevantes que otros. Esta visión de la red causal sin finalidad explicativa concreta puede ayudar a descubrir relaciones de causalidad que pasarían desapercibidas en el caso de estar previamente dirigidas.

Sin embargo, una vez focalizada la atención causal en un evento E concreto ocurrido en un momento  $t_0$ , las redes de mundo precedentes que influyen en dicho evento están más restringidas cuanto más cerca de  $t_0$  estemos. Así, en  $t_{-1}$  habrá ciertos nodos que no puedan afectar a E porque el tiempo en el que tardarían en influir es superior al diferencial de tiempo  $dt$ . De esta forma, conforme nos movamos hacia el pasado los nodos causales influyentes serán cada vez más numerosos. Esto determinaría un cono de nexos causales previos al evento, cada uno de los cuales está a su vez influido por los nodos anteriores, por lo que tendrían su propio cono previo. Este cono causal estaría delimitado una línea de horizonte entre causas influyentes y no influyentes en un evento concreto. De igual forma, los eventos futuros en los que influirá causalmente E formarán un cono causal futuro (ilustración 1).



*Ilustración 1.* Cono causal

Por otro lado, el tratamiento dado a la causación internivel sin causas internivélicas es un intento de explicar la intuición de la investigación científica con un éxito cuestionable. Al investigar un fenómeno concreto, cierto número de nodos anteriores a su realización son lo que denominamos causas. Observando el nivel fundamental, la situación  $F_0$  estará causada por otra previa  $F_{-1}$ , pero al ascender el nivel de foco, agruparemos cierta cantidad de ele-

mentos del nivel  $F$ , por lo que a nivel macroscópico veremos que la situación  $M_0$  está causada por una previa  $M_{-1}$ . Esta idea vale para cualquier nivel de observación:

Si observamos la causalidad de un acontecimiento  $A$  desde dos niveles distintos, y estamos interesados en la relación intranivel, es comprensible que analicemos aspectos diacrónicos como si fueran sincrónicos. Supongamos que queremos analizar la causa de  $M_0$  en un nivel inferior, como quiera que esta situación es idéntica a  $F_0$ , su verdadera causa es la situación  $F_{-1}$  que se corresponde con  $M_{-1}$ . Pero al no considerar el  $dt$  transcurrido es fácil mezclar la explicación causal y la relación de identidad internivel y observar que  $F_{-1}$  causa aparentemente  $M_0$ . Igualmente se puede tener la sensación de que  $M_0$  mantenga una relación de condicionante sobre sí misma visualizada como nivel microscópico, sin embargo, por la misma razón anterior, esto solo podría entenderse aparentemente sobre una situación micro posterior, y por lo tanto existir una causación descendente aparente entre  $M_0$  y  $F_{+1}$ . (Cáceres y Saborido 2017, 103)

#### 4.5. UN EJEMPLO DE RELACIÓN ENTRE MECANOSISTEMAS: LA BACTERIA Y EL CORONEL

En función de todo lo expuesto hasta ahora faltaría definir con la mayor claridad posible que es lo que entendemos por mecanosistema. Una primera aproximación podría ser la siguiente:

Un mecanosistema (MS) es un conjunto de entidades-sistema (E-S) pertenecientes a un intervalo de cuasi-descomponibilidad (ICD) cuya organización y propiedades (P) son debidas exclusivamente a las propiedades de sus componentes. Donde:

- el ICD es elegido en función del interés del observador
- una entidad-sistema es a su vez un mecanosistema de un ICD inferior
- P son propiedades de nivel seleccionadas del ICD anterior.

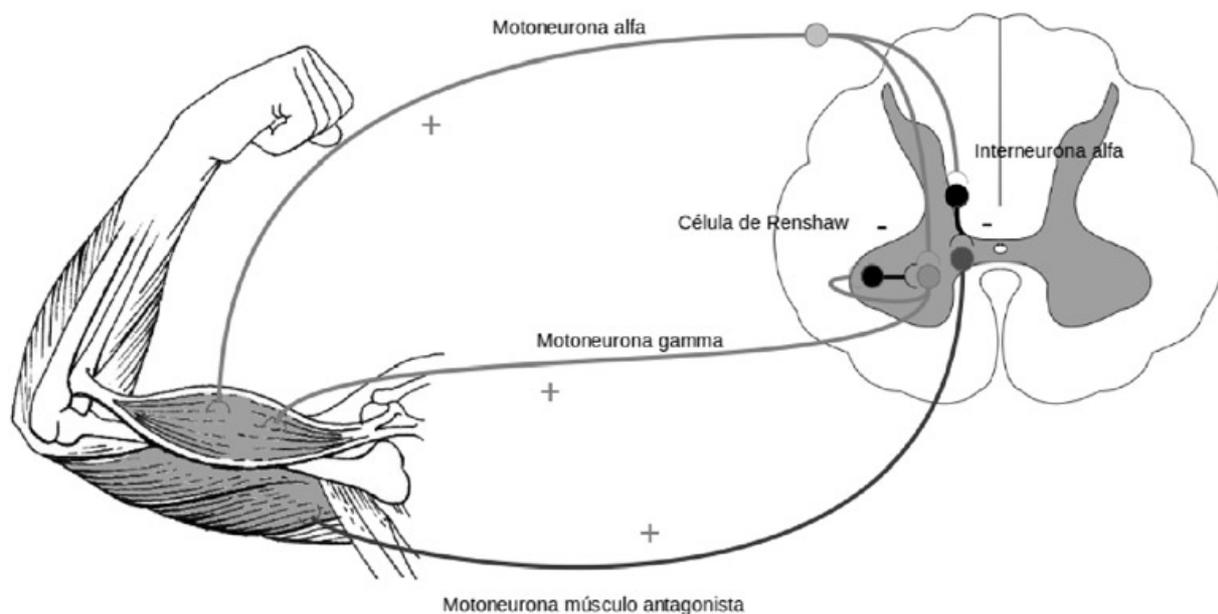
Así, un mecanosistema quedaría definido por su ICD, sus entidades-sistema y sus propiedades:

$$MS = df(ICD, E-S, P)$$

Faltaría por definir el criterio para la elección de un mecanosistema dentro del continuo de materia. Establecidos los niveles restaría definir cuáles de todas las E-S existentes en ese plano son las que van a formar parte del mecanosistema y por lo tanto que propiedades serán las que lo describan. Aquí se abre una doble posibilidad: a) se eligen los elementos y se observan las propiedades o b) se eligen las propiedades y se observan los componentes. De nuevo, la decisión entre las dos opciones es puramente heurística, siendo en general la opción b) la más utilizada en la ciencia: tras la observación de una propiedad se indaga en los elementos subyacentes en busca de aquellos responsables de ella. La búsqueda recursiva en niveles inferiores va construyendo un conjunto anidado de mecanosistemas formados por aquellos elementos que determinan la propiedad buscada. Sin embargo, este análisis  $P \rightarrow E-S$  tiene el inconveniente de dejar elementos fuera del mecanosistema no solo debido a la ignorancia o a los errores, sino en consideración de descomponibilidad de sistemas cuasi-descomponibles. Un estudio complementario  $E-S \rightarrow P$  puede ayudar a comprender mejor el funcionamiento del MS y a afinar mejor la definición de las propiedades.

Haciendo una analogía con el citado ejemplo de Craver sobre el virus y la muerte del general (Craver y Bechtel 2006, 556), vamos a exponer en detalle un caso en que la bacteria *Clostridium tetani* mata a, digamos, un coronel<sup>20</sup>. En este caso parece indiscutible que ambos eventos pueden ser vistos como causa y efecto. De hecho, si encontramos la forma de evitar ese contacto eliminando los reservorios bacterianos, se evitaría el tétanos. Pero si vamos más allá y queremos establecer con precisión las relaciones de causalidad y analizamos la sintomatología del tétanos, vemos que destaca la existencia de hipertonía, trismus, opistótonos y espasmos (Ardila *et al.* 2005, 174), todos ellos relacionados con una contracción continua de la musculatura estriada. Por lo tanto, por debajo del ICD de organismo (el propio coronel), el problema nos permite escoger las entidades-sistema implicadas, en este caso la musculatura estriada y su innervación. Al resto de elementos los eliminamos del mecano-sistema a pesar de ser solo cuasi-descomponibles y por tanto *poco* influyentes.

Se denomina *principio de innervación recíproca* al hecho de que sean las mismas conexiones nerviosas las que inervan músculos agonistas y antagonistas, con la diferencia que la misma orden nerviosa que activa a los primeros, inhibe a los segundos. Esto implica simul-



*Ilustración 2*

<sup>20</sup> Sostener que hay una relación causal más o menos directa entre microorganismos infecciosos y macroorganismos que enferman es algo habitual en la forma de entender la acción de virus o bacterias, y está presente ya en los postulados de Koch (Koch 1891). Así, los microorganismos que nos presentan estos postulados son agentes casuales que es posible identificar y aislar y que actúan en relación con otra entidad de nivel superior que podemos también identificar y aislar: el organismo (Gillies 2016). No es extraño que el ejemplo que Craver escoge para hablar de la causación internivelica sea uno en el que una pequeña entidad, un virus, es responsable de enfermar a otra de un tamaño mucho mayor (ver sección 4.3). Sin embargo, y aún a pesar de lo intuitivo del ejemplo, decir que una infección viral es un caso de causación internivel no sería más que el resultado de una simplificación de los procesos que realmente ocurren en una enfermedad infecciosa, simplificación que es denunciada frecuentemente en las revisiones críticas que se han planteado a los postulados Koch (p. ej., Fredericks y Relman 1996), (Gradmann 2014).

taneidad en la contracción-relajación de grupos musculares contrarios evitando la contracción sincrónica y permitiendo, por ejemplo, el movimiento de elevación del antebrazo respecto del brazo.

Dentro del mecnosistema anterior, el problema está relacionado con la activación-inhibición de la contracción muscular, por lo que de todas sus E-S el estudio se va a centrar en la comunicación neuronal, no tomando en consideración el funcionamiento del músculo ni otros elementos componentes del mecnosistema. En este fenómeno intervienen las neuronas que inervan los músculos agonistas, motoneuronas alfa y gamma, sus equivalentes del músculo antagonista y dos interneuronas espinales, las neuronas Ia y las células de Renshaw. De todas ellas, las dos últimas son las encargadas de la inhibición, característica que hemos tomado como clave en la elección de nuestros mecnosistemas. Así, instalados en el nivel celular y basándonos en la elección de una propiedad, elegimos a las neuronas inhibitoras como nuevo mecnosistema.

Cuando las motoneuronas alfa y gamma reciben la orden de contraer un músculo, lo hacen mediante una sinapsis activadora mediada por acetilcolina. A su vez, la motoneurona alfa establece sinapsis activadora con la interneurona Ia y la motoneurona gamma hace lo propio con la célula de Renshaw. La primera, la neurona Ia, hace sinapsis inhibitoria mediada por GABA con las motoneuronas de los músculos antagonistas, mientras que la segunda, la célula de Renshaw, hace lo propio con la motoneurona gamma, en esta ocasión mediante el neurotransmisor inhibitor glicina (Ardila *et al.* 2005). Recordemos que el problema se debe a que los músculos que no deberían contraerse lo hacen debido a las neuronas inhibitoras. Así, éstas se constituyen como el nuevo mecnosistema, eliminando a las activadoras del análisis. Dentro de este mecnosistema nos centramos en la exocitosis de las vesículas cargadas de neurotransmisores inhibitoros, tomando como componentes de nuestro mecnosistema solo aquellos elementos implicados.

Ya a nivel macromolecular, en la parte terminal de la neurona, ciertas proteínas transmembranales de las vesículas cargadas de neurotransmisores se encuentran unidas a moléculas de actina del citoesqueleto del axón. La acción de la proteína quinasa-II dependiente del complejo calcio-calmodulina, actúa sobre la sinapsina-I, una de las proteínas membranales de la vesícula, deshaciendo esta unión. Una vez libre en el citosol, la vesícula se desplaza hacia la membrana pre-sináptica. Asociada a la sinapsina-I y a la membrana vesicular se localizan también otras proteínas, entre las que destacan las sinapsinas-II y III, la sinaptobrevina, la sinaptotagmina y la sinaptofisina, todas ellas implicadas en la fusión de la membrana vesicular con la presináptica. Al aproximarse la vesícula a la membrana, la sinaptobrevina forma el complejo SNARE con las proteínas presinápticas, especialmente con la syntaxina y la SNAP-25, unión dependiente de calcio-calmodulina, que provocará la fusión de los lípidos de membrana de la vesícula con los de la membrana presináptica, permitiendo la liberación de los neurotransmisores a la brecha sináptica (Hu *et al.* 2003). Los distintos neurotransmisores llevan a cabo diferentes acciones, en función también del receptor post-sináptico. Si su unión al receptor provoca la transmisión del impulso nervioso a la neurona siguiente, son activadores (acetilcolina, histamina), si no lo hacen, son inhibitoros (glicina, GABA, serotonina).

La tetanoespasmina o toxina tetánica (TeTN) es un péptido producido por las esporas vegetativas de la bacteria *Clostridium tetani* que entra en las neuronas en el lugar de la infección gracias a la acción de una de sus partes, la denominada cadena pesada. Una vez dentro, se desplaza vía retroaxonal hasta alcanzar, entre otras, a las neuronas inhibitoras espinales

del SNC implicadas en la inhibición recíproca antagonista anteriormente citadas, la inter-neuronas Ia y las células de Renshaw. La cadena ligera tiene una acción endopeptidasa dependiente de cinc a través de la cual entra en contacto con la sinaptobrevina en la secuencia Ala(74)-Ser(75)-Gln(76)-Phe(77)-Glu(78)-Thr(79). En presencia de cinc (Schiavo *et al.* 1992), la actividad endopeptidasa de la cadena ligera secciona la sinaptobrevina en la unión Gln76-Phe77, dando lugar a dos fragmentos aminoacídicos (Rood *et al.* 1997, 308). Esta fractura impide la formación del complejo SNARE, la fusión de las membranas y la liberación de neurotransmisores GABA y glicina. Escalando niveles, la no liberación de GABA y glicina, no da lugar a la inhibición de los músculos antagonistas, lo que da lugar a la contracción simultánea de ambos paquetes musculares dando lugar a una clínica que sin tratamiento concluye con la muerte del coronel (Ardila *et al.* 2005, 174).

Viendo la relación de causación dentro de cada nivel, observamos que a) la toxina rompe la sinaptobrevina, b) la neurona con toxina no propaga el impulso nervioso, c) el sistema nervioso intoxicado no regula la contracción muscular y d) la persona intoxicada acaba falleciendo. Si consideramos la sincronía que nos hace ver la causalidad real intranivélica como causalidad internivélica, diremos que la toxina causa la muerte, pues de hecho esto es lo que se percibe. De ahí la falsa apariencia de causación internivel, cuando, estrictamente hablando, la bacteria *Clostridium tetani* no mata al coronel, sino que interacciona con ciertas moléculas que conforman un subsistema del coronel y, una vez que lo hace, un componente de esta bacteria (la tetanoespasmina) forma ya parte del mismo sistema y se debe considerar como un componente más, de igual manera que ocurre cuando un ADN vírico se integra en los genomas de las células parasitadas en los ciclos lisogénicos.

### Conclusiones

A largo de este trabajo, se han analizado los aspectos más significativos del denominado nuevo mecanicismo y hemos presentado una propuesta que trata de complementar esta perspectiva. Este enfoque introduce una razón para la compartimentación de la materia en niveles, la cuasi-descomponibilidad, que si bien permite elegir heurísticamente dichas divisiones, lo hace basándose en criterios que emanan de las propiedades de los elementos fundamentales de la materia. Creemos que puede afirmarse que estos criterios favorecen una elección de niveles arbitraria pero no caprichosa, lo que permite mantener una visión de la naturaleza como un continuo con la visión científica tradicional de que es posible distinguir niveles anidados. Además, lo hace sin tener que recurrir a propiedades emergentes como complemento a la explicación mecánica.

Considerar que los niveles explicativos se corresponden con los intervalos de cuasi-descomponibilidad permite elaborar una perspectiva sistémica de la explicación mecánica que propone la idea de mecanosistema como elemento central de la misma. La caracterización de los sistemas como entidades con mecanosistemas anidados conlleva una nueva interpretación de la causalidad inter e intranivélica y de la relación inter e intrasistémica, tal y como queda de manifiesto cuando observamos con detalle la relación entre la bacteria y el coronel.

## REFERENCIAS

- Alexander, Samuel. 1920. *Space, Time, and Deity. Vol 2.* London: Mcmillan.
- Ardila, Gustavo Pradilla, Jaime Otoniel Ayala Pimentel, y Claudia Liliana Sanabria Peña. 2005. Aprendizaje basado en problemas: Tétanos. *Salud UIS* 37 (3).
- Barberis, Sergio. 2012. Un análisis crítico de la concepción mecanicista de la explicación. *Revista Latinoamericana de Filosofía* Vol. XXXVIII (2).
- Bechtel, William, y Adele Abrahamsen. 2005. Explanation: A mechanist alternative. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36 (2):421-441.
- Bechtel, William, y Robert C Richardson. 1993. *Discovering complexity: Decomposition and localization as scientific research strategies.* Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Cáceres Vázquez, Emilio, y Cristian Saborido. 2017. Intervalos de cuasi-descomponibilidad y propiedades emergentes. *Theoria* 32 (1):89-108.
- Cartwright, Nancy. 1994. *Nature's Capacities and their Measurement.* Clarendon Press. Oxford.
- Churchland, Patricia S., y Terrence S. Sejnowski. 1988. Perspectives on cognitive neuroscience. *Science* 242 (4879):741-745.
- Craver, Carl F. 2001. Role functions, mechanisms, and hierarchy. *Philosophy of science* 68 (1):53-74.
- . 2006. When mechanistic models explain. *Synthese* 153:355-376.
- . 2007. *Explaining the brain: Mechanisms and the mosaic unity of neuroscience.* Oxford University Press.
- . 2013. Functions and mechanisms: A perspectivalist view. En *Functions: Selection and mechanisms*, 133-158. Springer.
- Craver, Carl F., y William Bechtel. 2006. Top-Down causation without top-down causes. *Biology and Philosophy* 22:547-63.
- Dowe, Phil. 2000. *Physical Causation.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Dupré, John. 2013. Living Causes. En *Aristotelian Society Supplementary Volume*, 87:19-37. Wiley Online Library.
- Fredericks, DN, y David A Relman. 1996. Sequence-based identification of microbial pathogens: a reconsideration of Koch's postulates. *Clinical microbiology reviews* 9 (1):18-33.
- Garson, Justin. 2013. The Functional Sense of Mechanism. *Philosophy of science* 80 (3):317-333.
- Gillies, Donald Angus. 2016. Establishing Causality in Medicine and Koch's Postulates. *International Journal of History and Philosophy of Medicine* 6: 10603.
- Glennan, Stuart. 1996. Mechanisms and the Nature of Causation. *Erkenntnis* 44:49-71.
- . 2002. Rethinking mechanisms explanation. *Philosophy of Science* 69:S342-S353.
- . 2008. Mechanism. En *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, editado por Stathis Psillos y Martin Curd, 376-84. London; New York: Routledge.
- Gradmann, Christoph. 2014. A spirit of scientific rigour: Koch's postulates in twentieth-century medicine. *Microbes and infection* 16 (11):885-892.
- Hedström, Peter, y Petri Ylikoski. 2010. Causal mechanisms in the social sciences. *Annual review of sociology* 36:49-67.
- Hu, Chuan, Mahiuddin Ahmed, Thomas J Melia, Thomas H Söllner, Thomas Mayer, y James E Rothman. 2003. Fusion of cells by flipped SNAREs. *Science* 300 (5626):1745-1749.
- Koch, Robert. 1891. Ueber bakteriologische Forschung. En *Verhandlung des X Internationalen Medicinischen Congresses, Berlin, 1890.* Ed: August Hirschwald, Berlin. pp: 1-35.
- Kuhlmann, Meinard, y Stuart Glennan. 2014. On the relation between quantum mechanical and neo-mechanistic ontologies and explanatory strategies. *European Journal for Philosophy of Science* 4 (3):337-359.
- Latorre, Ramón. 1996. *Biofísica y fisiología celular.* Ed. Universidad de Sevilla.
- Levy, Arnon. 2013. Three Kinds of New Mechanism. *Biology and Philosophy* 28:99-114.
- Machamer, Peter, Lindley Darden, y Carl F. Craver. 2000. Thinking About Mechanisms. *Philosophy of Science* 67 (1):1-25.

- Michael, Joel, y Sabyasachi Sircar. 2012. *Fisiología humana*. México: El Manual Moderno.
- Morgan, C. Lloyd. 1923. *Emergent evolution*. Editado por Williams y Norgate. 2º edition (1927). London.
- Oppenheim, Paul, y Hilary Putnam. 1958. Unity of science as a working hypothesis. En *Concepts, theories, and the mind-body problem, Minnesota Studies in the Philosophy of Science II*, editado por Herbert Feigl, Michael Scriven, y Grover Maxwell, 3-36. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Penrose, Roger. 1991. *La nueva mente del emperador*. Barcelona: Grijalbo.
- Rescher, Nicholas. 1996. *Process metaphysics: An introduction to process philosophy*. Suny Press.
- Rood, Julian I., Bruce A. McClane, J. Glenn Songer, y Richard W Titball. 1997. *The clostridia: molecular biology and pathogenesis*. Academic Press.
- Salmon, Wesley C. 1994. Causality without counterfactuals. *Philosophy of Science*, 297-312.
- Schiavo, G., B. Poulain, O. Rossetto, F. Benfenati, L. Tauc, y C. Montecucco. 1992. Tetanus toxin is a zinc protein and its inhibition of neurotransmitter release and protease activity depend on zinc. *The EMBO journal* 11 (10):3577.
- Simon, Herbert A. 1962. The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society* 106 (6):467-82.
- Steel, Daniel. 2007. *Across the boundaries: Extrapolation in biology and social science*. Oxford University Press.
- Weiss, Paul A. 1969. The living system: determinism stratified. En *Beyond Reductionism: New Perspectives in the Life Sciences*, editado por Arthur Koestler y John R. Smythies, 3-55. London, Hutchinson.
- Wimsatt, William C. 1976. Reductionism, Levels of Organization, and the Mind-Body Problem. En *Consciousness and the Brain: A Scientific and Philosophical Inquiry*, editado por Irwin Savodnik (eds.) Walter B. Weimer (auth.) Gordon G. Globus, Grover Maxwell, 1.ª ed. Springer US.
- . 1997. Aggregativity: Reductive Heuristics for Finding Emergence. *Philosophy of Science* 64(2):S372-84.
- Woodward, James. 2003. *Making things happen: A theory of causal explanation*. Oxford University Press.
- Wright, Cory D. 2012. Mechanistic explanation without the ontic conception. *European Journal for Philosophy of Science* 2 (3):375-394.

**EMILIO CÁCERES VÁZQUEZ.** Es licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid, en Ciencias Ambientales por la UNED y máster en Filosofía Teórica y Práctica por la UNED. Actualmente está elaborando su tesis doctoral sobre Propiedades Emergentes. Es autor de varios libros de texto y de ensayo y profesor de enseñanza secundaria y de formación profesional.

**DIRECCIÓN:** Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia, UNED, Senda del Rey 7, 28040 Madrid, Spain. E-mail: emiliocaceres@epifumi.com

**CRISTIAN SABORIDO.** Profesor del Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia de la UNED. Doctor en Filosofía por la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Especializado en Filosofía de la Ciencia, Filosofía de la Biología, Filosofía de la Medicina y Bioética. Autor de varias publicaciones en estas áreas en diversas compilaciones y revistas internacionales de investigación.

**DIRECCIÓN:** Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia, UNED, Senda del Rey 7, 28040 Madrid, Spain. E-mail: cristian.saborido@fsf.uned.es

**13.3 Intervals of quasi-decompositionality and mechanistic explanations, (2019). Emilio Cáceres. Quaderns de filosofia, 6(1), 15-27.**



EMILIO CÁCERES VÁZQUEZ<sup>1</sup>  
*UNED*

## Intervals of quasi-decompositionality and mechanistic explanations

Received: 6/7/2018. Accepted: 17/12/2018

**Abstract:** It is commonly assumed that the concept of mechanism is a keytool for the scientific understanding of observable phenomena. However, there is no single definition of mechanism in the current philosophy of science. In fact, philosophers have developed several characterizations of what seemed to be a clear intuitive concept for scientists.

In this paper, I will analyze these philosophical conceptions of mechanism, highlighting their problematic aspects and proposing a new mechanistic approach based on the idea that the pertinent levels of organization for a mechanistic explanation can be identified with intervals of quasi-decompositionality. I argue that this approach allows us to consider that activities are directly derived from the entities' structure. Consequently, a mechanistic explanation implies an arbitrary but not capricious choice of an organizational level. According to this approach, inter-level causation is merely apparent and there is no place for emergent properties.

**Keywords:** mechanisms, emergent properties, quasi-decompositionality, systems.

### INTRODUCTION

**F**ROM A SCIENTIFIC PERSPECTIVE, observable phenomena are the result of the interactions of the elements underlying a given phenomenon. Thus, the luminous phase of photosynthesis is produced by a series of interactions

<sup>1</sup> Department of Logic, History and Philosophy of Science, UNED, Spain. Mail to epifumi@epifumi.com.

among certain components of the green parts of plants. Explaining how photosynthesis takes place consists of defining, describing and locating the elements involved in that process and the relationships between them. For scientists, this is considered to describe a mechanism and, by extension, *to do science*. (MACHAMER *et al.* 2000, 2)

This claim, which could be summarized by saying that a mechanism *is a set of parts that interact among themselves to give rise to a phenomenon*, does not have, from a philosophical perspective, a single characterization. Instead, there are several different descriptions that attempt to capture the way scientists work. For example, (a) Machamer, Darden and Craver (hereafter MDC) affirm that “*mechanisms are entities and activities organized such that they are productive of regular changes from start or set-up to finish or termination conditions*” (MACHAMER *et al.* 2000, 3); for Glennan (b) A mechanism is a set of parties whose interaction gives rise to a phenomenon, where such interaction “*can be characterized by direct, invariant and change-related generalizations*” (GLENNAN 2002, S334), or its most recent minimum mechanism, in which “*a mechanism for a phenomenon consists of entities (or parts) whose activities and interactions are organized so as to be responsible for the phenomenon.*” (GLENNAN 2017, 17); and (c) Bechtel and Abrahamsen argue that “*A mechanism is a structure that performs a function in virtue of its components parts, component operations, and their organization*”. *Phenomena are responsible for the smooth functioning of the mechanism.* (BECHTEL and ABRAHAMSEN 2005, 423).

However, although there is not a consensus about the definition of mechanism, there are different aspects that are included in all these approaches. In this paper, I will analyze these aspects and propose a new mechanistic approach that will be able to address all them avoiding the problematic issues of classical mechanistic accounts.

## 2. THE MECHANISTIC PROPOSAL

It can be said that, in general terms, the different mechanistic proposals share the following four aspects, most of them already described in the foundational paper “*Thinking about Mechanisms*” (MACHAMER *et al.* 2000): First, mechanisms are formed by identifiable *entities* with certain stable and physically detectable characteristics that can be used to intervene in other processes, in addition to being physiologically plausible and relevant to explain the phenomenon under study (CRAVER 2006, 371). Second,

In addition to entities, second, mechanisms are formed by *activities* (MACHAMER *et al.* 2000), *interactions* (GLENNAN 1996), or *operations* (BECHTEL and ABRAHAMSEN 2005). Despite being intuitively the same concept, MCD underline an identical ontological consideration between activities and entities, which although still defended by one of its main developers, Carl Craver (2007, 64, 171, 177, 189), (2013, 7) is also criticized by authors like Kuhlmann and Glennan (2014) and Glennan (2017, 21). Third, although there is no consensus on how causality should be understood, it is agreed that mechanisms play a causal role in the occurrence of the phenomenon. It can be argued that the causal approach to mechanicism was firstly dominated by Wesley Salmon's (SALMON 1994) and Phil Dowe's (DOWE 2000) approach to the conserved quantities, and is now in the line of the manipulability theories of causation, such as the account developed by James Woodward (2003). However, there are also other causal approaches such as that derived from Glennan's own mechanicism (GLENNAN 1996) or Craver's constitutive approach. Fourth, the *organization* to which the mechanistic approach refers to typically corresponds to the hierarchical structure of many of the systems studied by scientists. Each component of a mechanism can also be itself a mechanism susceptible of being broken down into further mechanisms, which introduces the idea of *levels of organization* into the mechanistic framework. (MACHAMER *et al* 2000, 13)

The idea of level of organization is one of the core notions for scientific research, since the choice of level depends on the entities, the actions that these entities carry out and the causal relationships among them. For instance, Craver (2007, 171) chooses the levels of mechanisms as the most valid option for carrying out an explanation, rejecting the classical view proposed by Oppenheim and Putnam (1958, 9) and the "refined" version of Wimsatt (1976, 253), that is, elementary particles, atoms, molecules, cells, multicellular living beings and social groups. A mechanism level is chosen, not only because of its entities, but also because of its activities. In other words, the election of the level or organization is function-oriented (cf. GARSON 2013).

However, Craver's decomposition of the levels gives rise to some difficulties. As noticed above, for Craver, a single-level element can be recursively broken down into sub-elements. However, it cannot be said that the resulting hierarchies are comparable, so that the sub-levels are out of sync. Therefore, as Craver and Bechtel point out, the size of the entities involved is not important, as a virus and a human may be at the same level of mechanism and interact with each other. From this contextual definition of mechanism, they attempt to explain downward causation without top-down

causes (CRAVER and BECHTEL 2006, 556) and exclude from their analysis strongly emerging properties on the basis that they are emergent only with respect to a different level of characterization. However, most mechanistic advocates a mechanistic or organizational emergency in which superior properties are not directly derivable from those of their components because they are organization-dependent (CRAVER and TABERY 2017).

Despite the usefulness and ubiquity of the mechanistic explanation, I will argue that mechanism-level characterization is responsible for the difficulties cited above. In this paper, I will show how the notion of mechanism can be complemented with a new proposal that interprets the levels of organization of the matter as intervals of quasi-decompositionality (ICD), which will allow us to derive activities from the structure of the entities involved. This implies to make an *arbitrary but not capricious* choice of organizational level, explaining interlevel causation as merely apparent and avoiding the idea of emergent properties.

### 3. INTERVALS OF QUASI-DECOMPOSITIONALITY

I propose to depart from the idea of *nearly-decomposable systems* introduced by Simon in 1962. According to this proposal, certain systems can be split according to an arbitrary value  $\epsilon$  into subsystems that are influenced only in an aggregative way. Unlike Simon's, my proposal considers the impossibility of distinguishing types of partitions according to their mutual influence, because no matter how small the influence between two partitions of a system is, it will never be null and void, meaning that the main premise in his account is never met. Even in the aggregated systems considered by Wimsatt (1997, S375), it can be found that the resulting properties assume more than mere accumulation. This can be seen by the classical example of a making a pile of sand, as not only does the mass and volume of the pile change, but the degree of compaction changes as well, therefore the density changes and properties such as fluidity *appear*. Therefore, I propose to eliminate the possibility of partitioning nature into decomposable elements, understood as those that are not influenced, and to consider that every material is a continuum in the purest style of (WEISS 1970, 7).

From this starting-point, properly justified in Cáceres and Saborido (2017; 2018), it can be stated that, if instead of taking a single criterion of decompositionality  $\epsilon$  we take several criteria, it is possible to quasi-decompose the continuous material in the levels of organization of the matter (longitudinal intervals). In this way, one can decide on a value for  $\epsilon$  that will provide us with a

fundamental or microscopic *aproblematic*<sup>2</sup> level F that delimit the partitions at the most basic level. Following Simon, this value could be based on the energy that holds matter together. For example, we can consider as a fundamental level the one that delimits the stability of the atomic nucleus ciphered around 8 MeV, a sufficiently high value to consider this level as “aproblematic”. With lower values, we could take the energy figures that delimit the chemical bond, especially the covalent<sup>3</sup>, so that we would have defined a second quasi-decompositionality interval (ICD) that would determine the molecules. Below this energy level would be the molecules and above this the associations of molecules. However, this choice is not without problems, as there are covalent bonds with a binding energy almost equal to that of some molecular interactions<sup>4</sup>. This only underlines the fact that quasi-decompositionality is ubiquitous and that the choice of values in  $\epsilon$  is essentially heuristic. Thus, the same energetic criterion allows us to continue quasi-decomposing matter in successive mesoscopic nested levels ( $m_i$ ) in until we reach a macroscopic level M that would encompass all matter. In this arbitrary but not capricious way, we can establish levels as quasi-decompositionality intervals equivalent to the classic atomic, molecular, cellular, organism, population and ecosystem levels, which partition nature into atoms, molecules, cells, organisms, populations, etc. This approach could provide the robustness that Glennan calls for when he says that *“parts of the mechanisms must have a kind of robustness and reality other than their place within that mechanism. In principle, it should be possible to take the part of the mechanism out and consider its properties in another context”* (GLENNAN 1996, 53).

Once a criterion has been established to decompose nature, we must select the ICD of our interest according to the phenomenon under study.

<sup>2</sup> Level F is the level of the fundamental particles described by Physics, a level that is usually considered to be the ultimate level that constitutes the basis for ontological reductionism. The Standard Particle Model considers that there are two types of particles, leptons and quarks, that lack internal structure, so they are considered truly fundamental particles. However, the stability of the atomic nucleus is so great that it can be considered as aproblematic level when it comes to its difficult decomposition. In addition to MDC, who considered this level to be "aproblematic", Glennan (1996, 50) also referred to this fundamental level and has worked on the compatibility of the quantum level with the mechanistic explanations (KUHLMANN and GLENNAN 2014). From Physics, Roger Penrose (1991, 374-5) clarifies the difference between the quantum and the classical level, explicitly pointing out that the difficulties of current Physics do not really pose a challenge to the reductionist approach.

<sup>3</sup> Among them would be the ionization energies, so we could take the ions as an intermediate level.

<sup>4</sup> There are tremendously disparate covalent bond energies between them, for example, the  $E_{O-H}$  is 500 KJ/mol while the  $E_{F-F}$  is 160 KJ/mol. However, the energy of the hydrogen bond  $E_{F-H...F}$ , a non-molecular bond, is 155 KJ/mol.

Take, for example, the nutrition of vegetables. We can study this phenomenon from different perspectives. We can, for example, evaluate the energy flows from the sun and how they affect a forest, how they are transformed into plant matter, how they affect animal life, the climate, etc. We can also focus the study on how the light is captured by the plants through the leaves, how the flow of water and salts ascends through the xylem and how the sap is then distributed through the phloem, how the stomas of the leaves serve as an air and water vapour exchange zone, etc. But our interest may lie in the capture of energy from photons by protein photosystems, such as tilacoid molecules, that follow a sequence of oxidations and reductions that channel this energy, and how it is used to convert carbon dioxide and water into organic matter. Ecology, plant physiology or molecular biology will be the sciences responsible for carrying out these investigations.

Once the ICDs and their elements have been defined, a specific science will describe them structurally and functionally according to its methodology. Thus, ecology will not even distinguish species or will only distinguish them in terms of flow values, plant physiology will focus on the individual organism, and molecular biology on the chloroplast. Each field of science will develop its own methodology and language according to its own purposes, taking only those inputs and outputs it considers necessary and establishing a model system that will simplify reality heuristically. In this particular example, the concept of photosynthesis itself has a meaning related to matter and energy flows for ecology, fluids in plant physiology, and electrons in molecular biology. That is, when ecologists, physiologists and molecular biologists talk about photosynthesis, they mean different things. This is amplified as we ascend in level so that the observed generalizations will be equally inaccurate although they may be explanatory and predictive.

Each of the above sciences goes one step further in simplification. For example, molecular biology treats chloroplast as if it were what Bertalanffy calls an “equifinal state” (BERTALANFFY 1976, 147), i.e. it does not consider concrete chloroplasts, but rather idealizations of chloroplast formed by a complex of a priori selected interacting elements. These sciences will take this partition as their object of study, considering only the component parts it deems appropriate to explain what is of its interest. Thus, ecology will consider ecosystems and individuals and their functioning, physiology will consider cells, and molecular biology will consider atoms and ions. From this, we can infer that each science, in addition to its own  $\epsilon$ , uses as sub-quasi-decompositionality criteria ( $\epsilon_i^{\text{sub}}$ ) those of the sciences located at lower levels. Consequently, the sciences that investigate mesoscopic levels consider the immediately superior levels, and in a similar way they take the criteria of quasi-decompositionality of the sciences of the superior

levels as criteria of supra-quasi-decompositionality ( $\epsilon_j^{\text{supra}}$ ). Thus, with the choice of the levels at which a science has secondary competence, what can be called the extended quasi-decompositionality range  $IA_{(i,j)} = [\epsilon_i^{\text{sub}}, \epsilon_j^{\text{supra}}]$  is established.

This modeling, i.e. the description of a quasi-decompositionality interval with respect to the properties of that interval according to the science methodology of its level, implies an important simplification. A given level can be seen as a box to be opened by the science in charge of its study. In doing so, scientists will see that its interior is occupied by other enclosed boxes made up of lower-level systems, which are also studied by another science. Each box contains new boxes that correspond to another level and another science. This nesting of boxes would end at level F below and level M above. Therefore, it is inevitable that there will always be a loss of information that will have an important influence on the observation of regularities and therefore on the establishment of laws. The loss comes from taking as “real” values from the biases introduced when selecting the level, using a methodology, simplifying the previous interval, considering decomposability, etc. In addition, not all the variables that form part of a subsystem are used to describe them, but only those detected or considered relevant.

#### 4. MECHANICAL SYSTEMS

From this approach, only F-level entities have non-decomposable properties, while entities at all other levels will have a set of properties resulting from the simplification made when making the level choice. Therefore, an F-level entity will carry out actions based on their non-decomposable properties are ultimately due to their nature.

I label the result of the simplification made after choosing an ICD as a *system-entity*. This simplification involves not only the structural characterization, but also the selection of certain properties relevant to the explanation, which I call *level properties*. The system-entities are only arbitrarily stable, contrary to the idea of the classical entity of mechanism. For example, following the example of photosynthesis, once the molecular level has been chosen, we can characterize RuBisCO (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) as the protein that carries out the first reaction of atmospheric CO<sub>2</sub> fixation, that is, the enzyme that initiates the transformation of inorganic to organic matter. We do not characterize this protein by its structure, which is very variable in all autotrophs that have it, but by some of its functions. In particular, we do it based on its carboxylase action, which initiates the dark phase of photosynthesis, and because of its oxygenase function, opposite to the

previous one, and which reduces the efficiency of photosynthesis (NAVARRO 2005, 5-9). Therefore, the RuBisCO is a modeling of a molecule that has some level properties that help us to explain the phenomenon that interests us, that is, photosynthesis. Therefore, the RuBisCO is a system-entity with certain level properties. Both its structure and properties are fully deductible from the lower level, despite the fact that they appear to be emergent properties.

The system-entities interact with others of the same level according to their level properties, configuring a mechanism that, seen from a higher perspective, supposes a system-entity of the next level.

In this way, we can define mechanosystem as follows:

*A mechanosystem (MS) is a set of system-entities (S-E) belonging to a quasi-decompositionality interval (ICD) whose organization is due exclusively to the properties (P) of its components.*

$$MS = df(ICD, S-E, P)$$

Where:

- *the ICD is chosen according to the interest of the observer*
- *S-E is an entity-system and, at the same time, a mechanism of a lower ICD*
- *P are selected level properties of the previous ICD*

The particles of the fundamental level describe salmonian world lines<sup>5</sup>, and when they interact with those of other particles of the same level they exchange preserved quantities. Each nexus involves a causal interaction. Thus, the Salmonian view of world lines with a non-zero value of a conserved quantity and the intersection of these forming world networks is valid only for the fundamental level. As we ascend the level and speak, for example, of a molecule of water, we see how its atoms describe lines of world so that from a higher ICD it is perceived as a single thicker line, which will intersect with others in non-punctual nodes. As we move up more levels, the simplifications made in determining the mechanosystems introduce errors that accumulate making it difficult to detect the nodes. A set of water molecules together with a set of certain mineral salts can be seen as a concrete entity-system —the sap— that, at a higher level of analysis, serves to explain the ascension of nutrients by the capillarity of the trachea of the xylem. Similarly, the property “capillarity” is only observable at this level and, although it can be explained from the properties of its component elements, it is more easily distinguished by the properties of the level from which it is analysed, such as surface tension or density. Again, it can be said that this level property seems to emerge from

<sup>5</sup> A world line is the collection of points in a spacetime (Minkowski) diagram that represents the history of an object." (DOWE 2000, 90).

its components as a qualitative novelty, but it is actually nothing more than a phenomenon that can be explained in terms of the underlying level properties.

An interlevel observer will see that a fundamental  $F_0$  situation will be caused by another previous  $F_{-1}$ , its corresponding mesoscopic  $m_0$  will be caused by  $m_{-1}$  and the upper macroscopic  $M_0$  will be caused by a previous  $M_{-1}$ . When *zooming* in, the viewer cannot encompass the entire macroscopic phenomenon so he focuses on some aspect of the lower level, losing perspective. The ecologist is interested in balances, the physiologist in flows, the molecular biologist in chemical reactions. However, interactions take place exclusively at the fundamental level and therefore causality exists only at this level. For instance, the RuBisCO does not come into contact with  $\text{CO}_2$  as a whole, but only certain atoms of certain amino acids in that protein do so, meaning that such interaction is only real at the atomic level.. This gives us an idea of the arbitrariness of the choice of ICDs, because even if we choose elements of the same level, we observe that there is no real causal interaction between them.

Hence, from this perspective the interaction between elements of different sizes proposed by Craver (CRAVER and BECHTEL 2006, 456-7) is problematic . It is true that scientists speak this way when referring to molecular mechanisms, but making a leap of at most one level. An explanation of the catalytic reaction of RuBisCO and  $\text{CO}_2$  includes expressions such as “*binding of RuBisCO and  $\text{CO}_2$  to the previously activated catalytic site*”, “*formation of 2,3-enediol by C3 deprotonation*”, “*nucleophilic attack of  $\text{CO}_2$  in C2*”, “*hydration in C3*” and “*deprotonation at C3-O level, which initiates the breakdown of the C2-C3 bond leading to two 3-phospho-D-glycerate molecules*” (NAVARRO 2005, 6).

When all the levels are observed at the same time, it is intuitive to analyze diachronic aspects as if they were synchronic, avoiding the differential of elapsed time  $dt$  and mistaking the causal explanation for the internal identity relationship. In this way, we run the risk of concluding that  $F_{-1}$  causes  $M_0$  and  $M_0$  causes  $F_{+1}$ , generating a false sense of upward and downward causality which, in reality, this is only apparent.

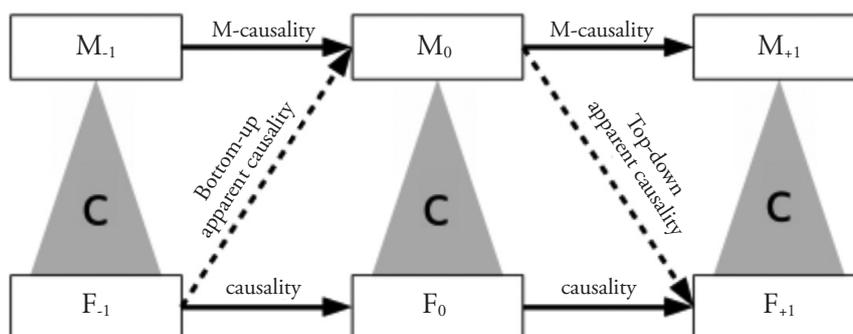


Figura 1: Apparent interlevel causality.

Thus, the nucleophilic attack of  $\text{CO}_2$  leads to an electronic rearrangement, which seen from a molecular perspective, is the breaking of a molecule into two. If we ignore  $dt$  we could believe that the nucleophilic attack is the cause of the formation of the two molecules, understanding therefore that there is an ascending causality. It is also common to express in the form of downward causation that RuBisCO maintains its active sites, when it really depends on the sequence of the amino acid's atoms and their interaction with the dissolving water.

If we consider, as this approach does, that the world is, ontologically, a material continuum, a criterion for the choice of mechanosystems should be defined. The first thing to do would be to determine the quasi-decompositional interval. In principle, each science will choose as ICD the one that is part of its domain. Ecology, physiology and molecular biology will choose their respective ICDs. Once these levels have been established, it would be necessary to define which of the S-E's at that level are the ones that form part of the mechanism and, therefore, describe certain relevant level properties. Here we find two possible strategies: a) the elements are chosen, their properties are analyzed and the phenomena that occur are observed or b) the phenomena are chosen and the components and properties involved in their implementation are studied. Again, the decision between the two options is purely heuristic, being in general choice b) the most widely used in science. The recursive search for lower levels builds a nested set of mechanosystems. However, this top-down analysis from the phenomenon to the S-E has the disadvantage of excluding elements from the mechanism not only because of ignorance or errors, but also because of the quasi-decompositional criterion that is assumed. A complementary bottom-up study from the S-E to the phenomenon can help to better understand the functioning of the mechanism and to better characterize the properties. In the example of photosynthesis, investigating the underlying components of this plant phenomenon resulted in the discovery of the RuBisCO and its function. But it was also discovered that the same enzyme is the one that catalyzes photorespiration, the "opposite" phenomenon to photosynthesis. A similar case is that of the so-called multifunctional or moonlighting proteins, which are those that perform different functions depending on their environment. A striking example is that of intrinsically denatured proteins (PINE) that are capable of changing their conformation, binding different ligands and performing different functions depending on environmental conditions (CUEVAS-VELÁZQUEZ and COVARRUBIAS-ROBLES 2011). In order to analyze this type of protein it is very effective to examine its behavior once it has been identified and biochemically described.

## 5. CONCLUSIONS

The consideration that mechanical systems<sup>6</sup> are quasi-decomposable allows us to develop an approach according to which levels of organization are heuristically deduced according to the entities of the system and their specific properties. The system-entities (S-E's) are interrelated, resulting in a multitude of outcomes some of which are subject to investigation. The organization of S-E's depends exclusively on their level properties, so the consideration of emergency, as J. S. Mill already pointed out, becomes an epistemic question (MILL 1843, 267). Depending on the level of the phenomenon which we are interested in, we will carry out our research by isolating the components that are important to us, thus describing a mechanism. Thus, for example, for ecology, photosynthesis is important because it leads to the production of organic matter and the beginning of food webs and the balances of matter and energy. Its entities would therefore be the plant populations. For plant physiology, photosynthesis is important because it is the form of nutrition of individual plants and governs their life. Its entities are therefore the organs involved, such as the leaves, roots, xylem and phloem beams and, in a lower step, the stomas of the leaves, the trabeculae of the conductive vessels, the absorbent hairs, etc. For cellular and molecular biology, photosynthesis is the fixation of inorganic carbon to organic matter. Its entities are the pigments of photosystems, light photons, enzymes such as RuBisCO and transformed molecules. And research can also be done at more basic levels, as is the case in recent studies of quantum effects in photosynthesis (THYRHAUG *et al.* 2018).

In conclusion, this proposal aims to enrich the neo-mechanicist view with a systemic, reductionist and non-eliminationist approach that understands the need to address the different levels of study from their own perspective with a practical aim.

<sup>6</sup> Although some authors claim that a mechanism can be a set of processes, which have a less stable configuration (ILLARI and WILLIAMSON 2012; GLENNAN 2017) the approach developed here interprets mechanisms as systems in which is possible to identify quasi-decomposable intervals.

## REFERENCES

- BECHTEL, W. & ABRAHAMSEN, A. 2005, "Explanation: A mechanist alternative", *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36 (2): 421-41.
- BERTALANFFY, L. VON. 1976, *Teoría general de los sistemas*, Fondo de Cultura Económica (ed.), Madrid.
- CÁCERES, E. & SABORIDO, C. 2017, "Intervalos de cuasi-descomponibilidad y propiedades emergentes", *Theoría* 32 (1): 89-108.
- CÁCERES, E. & SABORIDO, C. 2018, "¿Realmente mató la bacteria al coronel?: Perspectiva sistémica, causación internivélica e intervalos de cuasi-descomponibilidad en las explicaciones mecanísticas", *Theoria. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia* 33 (1): 129-48.
- CRAVER, C. F. 2006, "When mechanistic models explain", *Synthese* 153: 355-76.
- CRAVER, C. F. 2007, *Explaining the brain: Mechanisms and the mosaic unity of neuroscience*, Oxford University Press.
- CRAVER, C. F. 2013, "Functions and mechanisms: A perspectivalist view", *Functions: Selection and mechanisms*, 133-58. Springer.
- CRAVER, C. F. & BECHTEL, W. 2006, "Top-Down causation without top-down causes", *Biology and Philosophy* 22: 547-63.
- CRAVER, C. & TABERY, J. 2017, "Mechanisms in Science", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. N. ZALTA (ed.), Spring 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/science-mechanisms/>.
- CUEVAS-VELÁZQUEZ, C. L. & COVARRUBIAS-ROBLES, A. A. 2011, "Las proteínas desordenadas y su función: una nueva forma de ver la estructura de las proteínas y la respuesta de las plantas al estrés", *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 14 (2): 97-105.
- DOWE, PH. 2000, *Physical Causation*, Cambridge: Cambridge University Press.
- GARSON, J. 2013, "The Functional Sense of Mechanism", *Philosophy of science* 80 (3): 317-33.
- GLENNAN, S. 1996, "Mechanisms and the Nature of Causation", *Erkenntnis* 44: 49-71.
- GLENNAN, S. 2002. "Rethinking mechanisms explanation". *Philosophy of Science* 69: S342-S353.
- GLENNAN, S. 2017. *The new mechanical philosophy*. Oxford University Press.
- ILLARI, PH. MCKAY & WILLIAMSON, J. 2012, "What is a mechanism? Thinking about mechanisms across the sciences", *European Journal for Philosophy of Science* 2 (1): 119-35.

- KUHLMANN, M. & GLENNAN, S. 2014, "On the relation between quantum mechanical and neo-mechanistic ontologies and explanatory strategies", *European Journal for Philosophy of Science* 4 (3): 337-59.
- MACHAMER, P.; LINDLEY D. & CRAVER, C. F. 2000, "Thinking About Mechanisms", *Philosophy of Science* 67 (1): 1-25.
- MILL, J. S. 1843, *A system of logic: ratiocinative and inductive*. [8th, 1872]. London: Longmans, Green, Reader, and Dyer.
- NAVARRO, J. V. M. 2005, "Contribución de residuos conservados de cisteína a la regulación redox del catabolismo de la Rubisco". PhD Thesis, Universitat de València.
- OPPENHEIM, P. & PUTNAM, H. 1958, "Unity of science as a working hypothesis", *Concepts, theories, and the mind-body problem, Minnesota Studies in the Philosophy of Science II*, H. FEIGL, M. SCRIVEN & G. MAXWELL (ed.), 3-36. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- SALMON, W. C. 1994, "Causality without counterfactuals", *Philosophy of Science*, 297-312.
- THYRHAUG, E.; TEMPELAAR, R.; ALCOCER, M.J.C.; ŽÍDEK, K.; BÍNA, D.; KNOESTER, J.; JANSEN, T.L.C. & ZIGMANTAS, D. 2018, "Identification and characterization of diverse coherences in the Fenna-Matthews-Olson complex", *Nature chemistry*.
- WEISS, P. A. 1969, "The living system: determinism stratified", *Beyond Reductionism: New Perspectives in the Life Sciences*, A. Koestler & J. R. Smythies (ed.), 3-55. London: Hutchinson.
- WIMSATT, W. C. 1976, "Reductionism, Levels of Organization, and the Mind-Body Problem", *Consciousness and the Brain: A Scientific and Philosophical Inquiry*, I. SAVODNIK (ed.) & W. B. WEIMER (auth.), G. G. GLOBUS, G. MAXWELL. Springer US.
- WIMSATT, W. C. 1997, "Aggregativity: Reductive Heuristics for Finding Emergence", *Philosophy of Science* 64 (2): S372-84.
- WOODWARD, J. 2003, *Making things happen: A theory of causal explanation*, Oxford University Press.

LOS TODOS SOLO SON LA SUMA DE SUS PARTES

EMILIO CÁCERES VÁZQUEZ

**13.4 Los pilares de la emergencia, (2022). Emilio Cáceres. El origen de los fundamentos teóricos del emergentismo. Endoxa, Aceptado para publicación.**

LOS TODOS SOLO SON LA SUMA DE SUS PARTES

## **LOS PILARES DE LA EMERGENCIA. EL ORIGEN DE LOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL EMERGENTISMO.**

*The pillars of emergentism. the origin of the theoretical foundations of emergentism.*

**Emilio Cáceres Vázquez**

(aceptado julio 2021)

### **Resumen**

Las propiedades emergentes forman parte de la mayoría de los enfoques epistémicos actuales. Si establecemos un eje entre el fisicalismo reduccionista y el organicismo holista, podemos encontrar diferentes variantes de la emergencia en función de la interpretación de los elementos característicos de las propiedades emergentes. En todas estas interpretaciones se pueden encontrar de forma más o menos protagonista las cuatro *marcas* fundamentales de las propiedades emergentes: impredecibilidad, novedad, restricción y causación descendente. En este trabajo se presenta una revisión histórica en donde se expone cómo estos cuatro pilares de la emergencia se han asentado como fundamentos teóricos del emergentismo desde el mismo origen de esta corriente en el siglo XIX.

Palabras clave: Emergencia, causación descendente, reduccionismo.

### **Abstract**

Emergent properties are part of most current epistemic approaches. If we establish an axis between reductionistic physicalism and holistic organicism, we can find different variants of emergence depending on the interpretation of the characteristic elements of emergent properties. In all these interpretations, the four fundamental marks of emergent properties can be found more or less prominently: unpredictability, novelty, constraint and downward causation. This paper presents a historical review of how these four pillars of emergence have been established as the theoretical foundations of emergentism since the very origin of this current in the 19th century.

Keywords: Emergence, top-down causation, reductionism.

### **1. Introducción**

El emergentismo surgió a finales del siglo XIX y alcanzó su periodo clásico con los denominados emergentistas británicos en el primer cuarto del siglo XX. A día de hoy, sigue siendo una corriente de una relevancia central en multitud de debates en áreas como la filosofía de la mente, la filosofía de la biología o la filosofía de las ciencias sociales. Las características de las propiedades que desde esta corriente se denominan “emergentes” han sido analizadas en múltiples ocasiones, siendo referentes los análisis de Robert Klee (1984), David Blitz (1992), Clauss Emmeche, Simo Køppe y Frederik Stjernfelt

(1997), Michael Silberstein y John McGeever (1999), Jaegwon Kim (1999), William Wimsatt (2000), Richard Campbell y Mark Bickhard (2000), Timothy O'Connor (2002), Mario Bunge (2004) o, más recientemente, Olivier Sartenaer (2016). Todos estos autores ofrecen diferentes análisis de la idea de *propiedad emergente* desde distintas perspectivas, con el punto en común del énfasis en su utilidad para la explicación científica. En ellos se nos muestra como, en función de sus asunciones, la noción de emergencia puede ser válida como herramienta para la explicación, tanto sus interpretaciones más cercanas al reduccionismo, como en (Craver, 2007) como aquella presente en los enfoques mecanicistas o en las variedades más cercanas al holismo, (por ejemplo (Moreno y Mossio, 2015) además de otras posiciones intermedias, tal y como nos muestra Sartenaer (2016) en su taxonomía de la emergencia. A pesar de las diferencias de estas posturas emergentistas, la clave de la emergencia se puede resumir en el viejo aforismo de que *el todo es más que la suma de sus partes*. Esta relación de dependencia e independencia entre los elementos componentes de una entidad de un nivel superior y el todo resultante ha sido analizada, por ejemplo por Jaegwon Kim (1999) cuando habla de superveniencia e irreductibilidad, por Tim Crane (2001) cuando se refiere a a dependencia y distinción o por Olivier Sartenaer (2016) cuando distingue entre continuidad material y discontinuidad teórica entre las entidades de un nivel y sus componentes.

En este artículo, se pretende resaltar la importancia de las cuatro características de la emergencia que destaca Robert Klee (1984) en su análisis comparativo de los distintos tipos y usos de la emergencia, pues explícita o implícitamente están presentes en los todos los trabajos citados. Klee resume las propiedades emergentes de forma que considera que una propiedad  $P$  emerge a partir de una micro-estructura  $MS$  si y solo si (Klee, 1984: 48):

- 1)  $P$ , en principio, es impredecible a partir de  $MS$  (i.e. desde un completo conocimiento teórico de  $MS$  en el límite de la indagación científica); o
- 2)  $P$  es nueva con respecto a  $MS$ ; o
- 3)  $MS$  exhibe un mayor grado de variación y fluctuaciones que aquellos del nivel de organización donde  $P$  ocurre, la constante y perdurable presencia de  $P$  en el sistema no parecería completamente determinada por  $MS$ ; o
- 4)  $P$  tiene una directa y determinante influencia sobre, al menos, alguna de las propiedades en  $MS$ .

Estas cuatro exigencias son características fundamentales de las propiedades emergentes de forma que, según Klee, bastaría una de ellas para que se pueda hablar de emergencia.

Por tanto, estas cuatro características son las que permiten decir que una propiedad emerge de las pro-

propiedades de sus componentes en vez de resultar, en términos físicos, de ellos. En un trabajo previo (Cáceres y Saborido, 2017) las he denominado pilares de la emergencia y se pueden concretar como sigue:

- *Impredecibilidad* o imposibilidad de anticipar la aparición de una propiedad conociendo completamente las propiedades subyacentes y las reglas que rigen dicho sistema. Es uno de los pilares iniciadores de la idea de emergencia, presente, como veremos en la siguiente sección ya desde Stuart Mill.
- *Novedad genuina*. Ligada a la anterior se refiere a la aparición de propiedades no existentes en un nivel respecto a sus componentes, como puede ser la *liquidez* del agua o la vida.
- *Restricción*. Hace referencia a la reducción de variación en el nivel superior respecto al inferior. Así, una propiedad superior como la liquidez anteriormente citada es exhibida por más de una combinación de elementos del microsistema. Esto es lo que se ha dado en llamar realizabilidad múltiple.
- *Causalidad o causación descendente* o influencia causal del nivel superior en el inferior. Es quizá el elemento clave de la emergencia, como veremos que señala Kim (1999). sta relación causal, incluida dentro de la causación internivel, a su vez se puede clasificar en dos variantes, la anidada o reflexiva para hacer referencia a la influencia causal del todo en sus partes y la no reflexiva, que se refiere a la relación causal de un todo en el nivel inferior de otros todos adyacentes<sup>1</sup>.

En los siguientes apartados se desglosarán, en orden cronológico, la aparición de estos cuatro pilares y como han ido modulando su significado hasta llegar a su concepción actual.

## **2. De los orígenes del emergentismo al periodo clásico.**

### **2.1. Stuart Mill y las leyes heteropáticas: impredecibilidad y novedad genuina.**

Nagel cita a Stuart Mill como la “fuente clásica de la doctrina de la emergencia” (Nagel, 1961: 448). En esta cita, Nagel hace referencia a la distinción que hacía el filósofo inglés entre los modos *mecánico* y *químico* en relación a la acción conjunta de las causas. También C. Lloyd Morgan en su *Emergent Evolution* habla de Mill como del primero en plasmar la idea de la emergencia (Morgan, 1923: 3) haciendo referencia a la distinción que hay entre *emergente* y *resultante* a pesar de que no usara el término “emergencia”. Parece ser, por lo tanto, que Mill fue el primero en darse cuenta de que existían dos formas en las que la materia interactuaba, una que daba lugar a un resultado predecible y otro que resultaba, a priori, impredecible.

---

1 Estas diferencias no son significativas en el contexto de este trabajo, pero si lo son para la comprensión de la utilidad explicativa de las propiedades emergentes en los enfoques mecanicista tratado en (Cáceres y Saborido, 2018) (Cáceres, 2019) y organizacional, como estoy desarrollando en mi investigación presente, actualmente en revisión.

Efectivamente, Mill introduce el concepto germinal de la emergencia cuando habla de la composición de causas en su *“A system of logic”* (1843). En el análisis de la causalidad, Mill atisba dos formas diferentes en las que las causas se pueden combinar para dar una consecuencia. Una de ellas se da cuando dos causas mecánicas actúan conjuntamente para dar un resultado común, pues a pesar de que el resultado aparezca como novedoso, un análisis sencillo lo muestra perfectamente calculable mediante la combinación algebraica de las causas. Esto era así porque la misma ley que rige en las causas independientes opera sobre el resultado. Pero Mill considera que esto no es siempre así, es decir, no siempre el resultado es esperable, como en el caso de las reacciones químicas en las que a partir de unos elementos iniciales se produce una o varias sustancias con unas propiedades completamente diferentes a las de los elementos de partida. Mill usa varios ejemplos, entre ellos el agua de la que afirma que *“no se observa ningún rastro de las propiedades del hidrógeno o del oxígeno en las de su compuesto, el agua”* (Mill, 1843: 267). Esta diferencia es lo que hace de la química una ciencia peculiar, en el sentido de impredecible, diferencia que se amplifica en la vida. Lo vivo está formado por los mismos componentes que lo inerte, pero aunque la vida es el resultado de la yuxtaposición de sus componentes, todos ellos inertes, no guarda ninguna relación con las propiedades de estos de forma individual. Continúa su ejemplo hablando de la lengua que, a pesar de esta compuesta por los mismos elementos que el resto del animal, no hay nada que hagan pensar en su capacidad para reconocer los sabores (1843: 267). En estos y otros ejemplos Mill hace referencia a la aparición de propiedades no contenidas en los componentes y no resultante de estos.

Por lo tanto, su visión humeana de causalidad como una mera sucesión de fenómenos (Blitz, 1992: 76) distingue dos tipos de causas, una mecánica y una química que no se anulan una a la otra sino que se complementan. De esta forma la combinación de elementos da lugar por una parte y de forma general a resultados homogéneos o esperables y por otra de forma particular a resultados heterogéneos o inesperables. Por ejemplo, en un cuerpo vivo la cualidad de vida es una propiedad no resultante, inesperada o heterogénea, mientras que su peso sigue cumpliendo con la agregación de masas y es por tanto homogénea, esperable o resultante. Las leyes que rinden resultados homogéneos son mayoritarias y son reemplazadas solo en ocasiones por las que dan lugar a efectos inesperados. Mill usa el término *ley heteropática* para hacer referencia a la responsable de este cambio químico.

Esta idea de ley anómala, en el sentido de excepcional, es la que posteriormente será usada para basar la idea de emergencia tanto en los primeros emergentistas en apoyo de sus ideas, como el ya citado Morgan, como por los reduccionistas en detrimento de las suyas, como el también citado Nagel. Pero a pesar de ello, no es en estos inicios una opinión tan *emergentista* como pudo parecer a posteriori. Prueba de ello es que el propio Mill deja claro que tras una combinación de causas de tipo químico *“no po-*

*demos, al menos en el estado actual de nuestros conocimientos, prever qué resultado se obtendrá de cualquier nueva combinación hasta que hayamos probado el experimento concreto”* (Mill, 1843: 267) dejando abierta una interpretación del concepto de ley heteropática más cercano a una irreductibilidad contingentemente epistemológica, como lo denomina (Piironen, 2014: 143) que a una emergencia al uso.

Mill sitúa las leyes heteropáticas estrictamente en el cambio químico y deja claro que es perfectamente posible la combinación de causas regidas por éstas y por leyes mecánicas. Abre así la posibilidad de considerar la fisiología o la química como ciencias deductivas (Mill, 1843: 270), pues si bien es imposible deducir todas las leyes a partir de sus *agentes elementales* es perfectamente plausible hacerlo mediante leyes que empiezan cuando estos elementos ya se han unido en algunas combinaciones que siguen las leyes heteropáticas.

*Las leyes de la vida nunca serán deducibles de las meras leyes de los ingredientes, pero los hechos de la vida, prodigiosamente complejos, pueden ser todos deducibles de leyes de la vida comparativamente simples; estas leyes (que dependen ciertamente de combinaciones, pero de combinaciones comparativamente simples, de antecedentes) pueden, en circunstancias más complejas, estar estrictamente compuestas unas con otras, y con las leyes físicas y químicas de los ingredientes.* (Mill, 1843: 269)

Por lo tanto, Mill propone una especie de ciencia deductiva completa a falta de la brecha que supone el desconocimiento del salto de lo físico a lo químico. Así, partiendo de algunas leyes heteropáticas como las primeras leyes ponderales<sup>2</sup> se puede llegar a un completo conocimiento de la naturaleza.

Otro aspecto que merece la pena señalar de Mill es su postura en torno a la reversibilidad de las leyes heteropáticas (1843: 316), algo que aplicado al concepto de emergencia veremos posteriormente, por ejemplo en la extinción de Mario Bunge (2004: 35). Mill plantea esta idea como un método para analizar los componentes causales de una sustancia. Así, dice que, si bien no se puede predecir el resultado de la combinación del hidrógeno con el oxígeno, dado que las leyes heteropáticas son reversibles, se puede descomponer el agua y así averiguar de que está formado. Esta idea estaba muy lejos de poder ser aplicada con éxito en la época de Mill, pues apenas se conocían media centena de elementos y las posibilidades metodológicas de descomposición de un compuesto hasta sus partículas elementales eran muy reducidas. Mill añade que a pesar de esta virtud de la combinación de causas, no se trata de un método que pueda extenderse a todos los ámbitos, señalando como excepción uno de los problemas que poste-

---

2 Las leyes ponderales son expresiones matemáticas que hacen referencia a las relaciones de masa de elementos en un compuesto químico o de reactivos y productos en una reacción química. Fueron formuladas antes de la Teoría Atómica de Dalton a finales del siglo XVIII

riormente desarrollará el concepto de emergencia, la relación entre la mente y su soporte físico. Así, afirma que la naturaleza mental es análoga a los procesos químicos, de manera que aunque un sentimiento complejo está formado por la coalición de muchos impulsos elementales “*no podemos determinar a partir de qué sentimientos simples se generan cualquiera de nuestros estados mentales complejos, como determinamos los ingredientes de un compuesto químico, haciendo que éste, a su vez, los genere.*” (Mill, 1843: 317)

Es importante destacar que el tratado de Mill es básicamente sobre la causalidad, no sobre las propiedades de la materia, ni sobre su estructura, ni sobre la vida o la mente, ni por supuesto sobre la evolución darwiniana que aún no había sido publicada, y es en ese marco en el que hay que comprenderla. La química durante el siglo XIX era una ciencia principalmente inductiva, como el propio Mill pone de manifiesto al ejemplificar la reversibilidad con los experimentos de Lavoisier llevados a cabo durante el siglo XVIII, y el conocimiento de la naturaleza de los enlaces químicos no se conocería hasta ya entrado el siglo XX, hecho que hace desaparecer el misterio que Mill otorgaba a este tipo de ley<sup>3</sup>. La vinculación de las leyes heteropáticas a la emergencia, como asumen los ya nombrados Morgan y Nagel, es en mi opinión la suscripción a una idea que flota en todas las concepciones de la emergencia, la sencilla idea de que *algo más debe haber*.

## 2.2. George H. Lewes, el término “emergencia” y la generalización del concepto.

George H. Lewes es también citado por Morgan como uno de los introductores de la emergencia, a pesar de que como señala (Blitz, 1992: 82) las diferencias con Mill son significativas. Lewes trata el tema de la emergencia en su *Problems of Life and Mind* (1874-1879) y como el título indica, trata sobre la peculiaridad que la vida y la mente tienen con respecto al resto de la materia. Solo habían pasado 30 años desde la primera edición de la obra de Mill, pero en una época lo suficientemente significativa para que ya se haya editado el *Origin* (Darwin, 1859) y la visión de la biología había cambiado radicalmente. En su tratamiento acerca de la causalidad, Lewes recupera la idea de ley heteropática de Mill pero la amplía sacándola del campo de la química y llevándola a aspectos relacionados con la biología y la mente. Pensaba que estos eran algo más que sus componentes y que los seres vivos se comportaban como un todo en relación con su entorno. Además, rechazaba cualquier forma de vitalismo señalando que “*algún Principio extra-orgánico es una ficción puramente gratuita*” (Lewes, 1877: 15).

*El biólogo empleará el análisis químico y físico como parte esencial de su método; pero siempre rectificará lo que sea artificial en este procedimiento, subordinando las leyes de la Física y*

---

3 Hasta el descubrimiento de la naturaleza del enlace químico las moléculas eran proporciones de átomos con propiedades solo discernibles por observación. Una vez desentrañada la estructura, las propiedades de las moléculas podían deducirse, o cuando menos explicarse, a partir de su estructura. En el caso siempre usado del agua, la propiedad de “ser líquido” es debida a la estructura de la molécula. Ver en (Cáceres y Saborido, 2017: 101)

*la Química a las leyes de la Biología reveladas en la observación sintética del organismo como un todo* (Lewes, 1877: 21-22).

De esta forma, acuña el término emergente en contraposición de resultante, reservando este último para aquella composición de causas, como las fuerzas, cuya consecuencia es perfectamente explicable y predecible a la vista del punto de partida y viceversa. Lo emergente es lo que no es resultante y no puede reducirse a la suma algebraica de sus componentes.

*Cada agente, indestructible e independiente, tiene su propio valor individual; y el efecto o combinación de agentes tiene dos modos: en un caso tenemos una adición o mezcla; en el otro una combinación, con un emergente.* (Lewes, 1874: 2, 412)

Al margen de la recuperación de la idea de Mill, es importante señalar las diferencias entre ambos pensadores, en especial en la contemplación de lo psicológico. Lewes pensaba que la psicología tenía características propias más allá de las puramente biológicas y fisiológicas, por lo que amplía la consideración de emergencia también a lo psíquico y basa en la emergencia la concepción de un mundo discontinuo, con cambios cualitativos, contrario a la visión darwinista gradual y cuantitativa (Blitz, 1992: 80-81). Por lo tanto, además del cuño del término, Lewes plantea varios de los problemas que recogerán los denominados emergentistas británicos: la novedad cualitativa, no solo a nivel químico, sino extendido a otros niveles de complejidad, la impredecibilidad, la imposibilidad de reducción, las propiedades de los todos frente a sus partes y la jerarquía de las ciencias y de sus respectivos niveles de estudio. Lewes, como Mill, no da ninguna explicación para la emergencia más allá de describirla como solución para problemas de complicada respuesta o de difícil asimilación, algo que, en mi opinión, no solo le ocurre a él, sino que se va manifestando a lo largo de la evolución del concepto. Una de estas cuestiones es el gradualismo cuantitativo darwiniano, aspecto contrario al pensar y al sentir de la época y que fue la clave de la obra principal de Morgan.

### **2.3. Edward Spaulding y la relación parte-todo como precursor de la restricción y la causación descendente.**

Ya en el siglo XX, otro elemento interesante que atañe a la cuestión de la emergencia llega esta vez procedente del continente americano. En *A Defense of Analysis*, Edward (Spaulding, 1912) desarrolla la importancia del análisis de los *todos* para favorecer su comprensión, considerando a las partes tan reales como lo son los *todos* de los que son componentes. Spaulding habla tanto de analítica formal como experimental, admitiendo en el segundo caso la experimentación en laboratorios físicos, químicos, biológicos y psicológicos, aunque en este último caso lo plantea más como una analogía más que como un método experimental al uso (1912: 155-56). Es importante destacar, de cara al crecimiento del concepto

de emergencia, el papel clave que Spaulding sitúa sobre las relaciones entre los componentes y la totalidad cuando dice que *el análisis involucra la relación parte-todo* (1912: 158), pues es en ella donde basa la clasificación de *todos* que propone y donde descansa el *algo más* de la emergencia. Así, agregados, simples colecciones de objetos, colecciones de objetos subordinados y todos orgánicos, dependen de la relación entre las partes que los forman.

A lo largo de su obra, Spaulding pormenoriza las diferencias entre los cuatro tipos de *todo* que plantea, destacando en especial, para el tema que tratamos, el capítulo V dedicado al último de los tipos, los *todos* orgánicos. En él habla del ejemplo al que recurren todos los pioneros de la emergencia, el agua, llegando a la misma conclusión que sus predecesores: el agua tiene diferentes propiedades que no pueden encontrarse en el oxígeno ni en el hidrógeno. Pero nos hallamos en 1912 y se ha avanzado mucho en el desentrañamiento de la estructura de la materia. Spaulding va más allá y compara las propiedades del agua, no ya con la agregación de propiedades del hidrógeno y del oxígeno, sino con la de los electrones y los núcleos atómicos (1912: 238-39), para llegar a la misma conclusión: hay propiedades que no están en los componentes y que no pueden deducirse *homopática* o *resultantemente*. Insiste en la novedad de las *relaciones entre los componentes* que dan razón de las propiedades que no son explicables por simple aditividad, relaciones que son ejemplificables en un organismo, razón por la cual los denomina orgánicos a pesar de que no solo los seres vivos son este tipo de todo no aditivo.

No obstante, el Spaulding de 1912 es, como Mill, reservado acerca de la imposibilidad de deducción, y hace referencia al estado actual de la ciencia para dejar en el aire si se trata de una cuestión de ignorancia o de imposibilidad real cuando dice que “*permite [el análisis] para un todo que no es simplemente la suma de sus partes, y que, con sus propiedades, no puede en la etapa actual de la ciencia ser deducido de esas partes*” (1912: 239) o que “*es una cuestión abierta si esta imposibilidad se debe a la estructura de la existencia, o a nuestra ignorancia*”. (1912: 241). Pero esta cuestión parece cambiar unos años después cuando afirma la imposibilidad de deducción de las propiedades de los *todos* a partir de sus partes (Spaulding, 1918: 448). En esta última obra desarrolla un sistema para explicar la estructura de la materia basada en niveles de organización cuyos componentes están relacionados entre sí mediante relaciones no aditivas o constitutivas<sup>5</sup> que da lugar a propiedades cualitativamente nuevas. En este sistema, el nivel superior respeta las leyes del inferior y éste tiene una relación con el primero, pero no una relación de causalidad ni de identidad. Añade que, en función de la existencia de dichas relaciones no aditivas, existe una imposibilidad de deducción o predicción de los niveles superiores a partir de los inferiores y que los primeros solo pueden ser comprendidos en primera instancia mediante la inducción y la investigación empírica (1918: 449).

---

5 Spaulding usa el término constitutiva citando a Walther Nernst en (Spaulding 1912, 238).

Es palpable la importancia que otorga a la organización frente a la materia, aspecto que será importante en las más modernas consideraciones de la emergencia. Y lo hace en referencia a toda la materia, tanto orgánica como inorgánica, diciendo que *“en ambos casos, las partes constituyentes pueden ir y venir, pero las organizaciones permanecen; esta última es más permanente que la residencia en ella de las partes materiales”* (1918: 449). Pero a pesar de alojar bajo el mismo tipo de organización lo inerte y lo vivo, y en función de las características propuestas para los niveles, puede resolver la cuestión diferencial del ser humano como ser ético y racional, considerando estas cualidades humanas como no identificadas ni derivadas directamente de la naturaleza biológica, aunque si correlacionadas con ellas, pero solo una vez descubiertas.

*Pero de esto se desprende la conclusión [...], de que la ética no es una rama de la biología, así como la biología no es una rama de la química y la física, y también la conciencia, la voluntad y la razón, aunque no son indeterminadas y sin ley, son sin embargo libres -primero, sin embargo, en el sentido muy específico de ser realidades en un ámbito en el que la causalidad está ausente, pero en el que los ideales del derecho y la justicia y la verdad están presentes como eficiencias, para así llevar a los hombres a actuar como deben actuar, y a razonar como la estructura implícita de la realidad dicta, y no como la tradición y la costumbre y la autoridad querrían que razonaran.* (Spaulding, 1918: 450-51)

De este último aspecto puede derivarse una cuestión fundamental en el devenir del concepto de emergencia. Aunque Spaulding no lo dice explícitamente, parece apreciarse una influencia de los niveles inferiores por parte de los superiores, condicionamiento que aparecerá manifiestamente en Morgan y que posteriormente se denominará causación descendente.

### **3. El emergentismo británico: la modulación de los pilares de la emergencia y sus primeros usos**

Los análisis clásicos de la emergencia marcan este periodo (primer cuarto del siglo XX) y a sus autores, como el precedente de lo que se dio en conocer como la época del emergentismo británico o el periodo clásico de la emergencia. Algunos ejemplos son (Stephan, 1992), (Mclaughlin, 1992) o (Blitz, 1992) quienes en sus trabajos hablan de Mill, Lewes y Spaulding, entre otros para situar los trabajos de C. Lloyd Morgan, Samuel Alexander, C.D. Broad, William Wheeler y Roy Wood Sellars como autores que recogieron las ideas de los anteriores e hicieron de la emergencia el eje central de su pensamiento, si bien desde perspectivas diferentes, con aspectos comunes. Por ejemplo, todos ellos construyeron una realidad formada por niveles caracterizados por propiedades emergentes cualitativas no reducibles a las de los niveles inferiores, algo que con la mira puesta en la exposición de mi tesis me gustaría resaltar

especialmente.

### 3.1. La evolución emergente de Lloyd Morgan y la genuinidad de las novedades.

Morgan utilizó el concepto de emergencia como eje de la confección de una teoría de la evolución con la que intentaba resolver uno de los aspectos más criticados de una teoría darwiniana en horas bajas (Bowler, 1998: 313): la cuestión del gradualismo. La propuesta darwinista tenía un doble foco de análisis, uno biológico y otro filosófico. En el primero, el debate se centraba en cuales eran los mecanismos por los que se producía la descendencia con variabilidad y como actuaba la selección natural para cribar entre las distintas opciones. En el segundo, si la evolución trabaja gradualmente, no puede haber ninguna separación entre dos características que no puedan quedar enlazadas por un número finito de términos medios. Por tanto los planteamientos clásicos de la existencia de *brechas* entre seres vivos e inertes o animales y hombres no se sostenían, y como consecuencia las propiedades principales en las que se establecen estas diferencias, la vida, la racionalidad y la moral, tampoco.

*Todo animal, cualquiera que sea su naturaleza, si está dotado de instintos sociales bien definidos, incluyendo entre estos las afecciones paternas y filiales, inevitablemente llegaría a la adquisición del sentido moral o de la conciencia cuando sus capacidades intelectuales llegasen o se aproximasen al desarrollo a que aquellas han llegado en el hombre. (Darwin, 1871: I:122)*

Una conclusión de este gradualismo que incluía lo mental y lo moral, fue el pansiquismo de (Haeckel, 1892) ya criticado por Lewes cuando decía que según esto “los guijarros son filósofos de energía infinitesimal” (Lewes, 1879: 2, 31), explicado por Wallace mediante un dualismo: “*No hay escapatoria a este dilema: o toda la materia es consciente, o la conciencia es algo distinto de la materia*” (Wallace, 1871: 360). No obstante, entre los evolucionistas como Spencer, Huxley o Romanes, predominaba una visión monista neutral de sustancia, muy cercana en algunos casos al materialismo. En palabras de éste último: “*los fenómenos mentales y los físicos, aunque aparentemente diversos, son realmente idénticos*” (Romanes, 1895: 83).

Esta idea tan simple tuvo grandes implicaciones para el pensar decimonónico por lo que no es de extrañar la compleja variedad de soluciones planteadas a sus preguntas, entre ellas la evolución emergente de Morgan. La preocupación principal de Morgan era la aparición, en una naturaleza que se percibía como continua y ordenada, de *novedades genuinas*, como son la vida, la mente y el pensamiento reflexivo, pero también de átomos y moléculas. Es decir, dado que la evolución ha de ser gradual debe haber una razón para justificar estas discontinuidades tan manifiestas. Morgan hacía hincapié en la *genuinidad*, es decir, algo más que un simple reordenamiento de los componentes (Morgan, 1923: 1-2). Para buscar una explicación, parte de su enfoque es naturalista, con lo que quiere decir, al estilo de Spaul-

ding, que todo, desde los átomos a la mente, es susceptible de ser analizado mediante los mismos métodos y estos permiten alcanzar una explicación si tener que recurrir ni a la divinidad ni a ningún otro tipo de explicación sobrenatural. En este aspecto hace referencia explícita a la *entelequia* de Hans Driesch y al *élan vital* de Henri Bergson (Morgan, 1923: 2), con quien sin embargo comparte la idea de novedad (Blitz, 1992: 91). La cuestión de si desde este enfoque se puede explicar ese *algo más* que aporta genuinidad es en lo que va a consistir su descripción de la evolución emergente.

Morgan estaba de acuerdo con Mill y Lewes en que lo resultante y lo emergente podían converger en una causación conjunta dando lugar a lo que Bergson llamaba evolución creativa y Wilhelm Wundt comparaba con un acorde que hay que aceptar, como decía Samuel Alexander, *con piedad natural*. (Morgan, 1923: 4). Morgan decía que la sonoridad del acorde es diferente de las tres notas separadas y no puede explicarse ni predecirse desde éstas. Comparte con Lewes la idea de la imposibilidad de aprender lo emergente sin la experiencia, pero añade que lo resultante también debe ser sentido para conocerlo (1923: 5). Por lo tanto, añade también otra característica perdurable de la emergencia que es la imposibilidad de análisis bottom-up sin un conocimiento previo *top-down*.

Este planteamiento hecho para explicar las novedades cualitativas se acompaña, como ya había hecho Alexander un poco antes<sup>6</sup>, de una consideración de la realidad agrupada en niveles surgidos mediante emergencia. Como resulta lógico desde el enfoque monista de Morgan, debe haber una *sustancia* de la que proceda todo lo demás. Esta sustancia es susceptible de agruparse de modo resultante o de modo emergente, siendo el resultado de lo primero meros agregados y de lo segundo, una nueva entidad con propiedades genuinamente nuevas. La sustancia básica es el espacio-tiempo, procedente del esquema de Alexander y evidentemente influenciada por la recientemente publicada teoría de la relatividad de Albert Einstein. Morgan afirma que del espacio-tiempo *emerge* la materia, con sus cualidades primarias y después secundarias, caracterizada por eventos físico-químicos. De la materia emerge la vida que sigue su evolución progresiva hacia la mente, con cualidades terciarias como la verdad o la belleza, de la cual emergerá finalmente cualidad que denomina *deidad* (Morgan, 1923: 9-10). Según este plan, de una porción del ubicuo espacio-tiempo emerge la materia, de entre cuyas propiedades físicas y químicas sobreviene la vida. Parte de la vida da lugar a la mente y solo de la mente de algunos hombres emerge la cualidad de la deidad.

“Del espacio-tiempo omnipresente surgen en el debido orden histórico lo inorgánico, lo orgáni-

---

6 Morgan hace referencia al trabajo de Alexander en su *Emergence Evolution* dedicado a los niveles de la realidad. A la vista de esto podría parecer que la idea original procede del primero, pero como señala (Blitz, 1992: 102), Alexander publicó las ideas a las que se refiere Morgan en 1920 en su obra principal, *Space, Time and Deity* (Alexander, 1920) después de que Morgan hubiera desarrollado la idea entre los años 1912 y 1915, a pesar de no publicarlas hasta 1923. No obstante, Alexander reconoció la originalidad de Morgan y su actitud fue de colaboración.

*co y lo mental, en todos sus grados ascendentes, hasta que se alcanza en algunos hombres la cualidad de la deidad [...] es la deidad (D), una cualidad emergente que caracteriza sólo a ciertas personas en la etapa más alta y última de la evolución.” (1923: 10)*

Morgan y los demás emergentistas representarían esta idea en forma de pirámide con la sustancia primera en la base y la deidad en el ápice. Según este planteamiento, toda cosa existente se puede posicionar en algún punto de la pirámide en función de sus cualidades, así los individuos con mente son a su vez seres vivos, materia y finalmente espacio-tiempo, y sus características se deben a las relaciones resultantes y emergentes de sus niveles inferiores. Estos niveles tienen una relación jerárquica y su existencia implica (a) que existe una complejidad creciente con una relación sucesivamente superveniente<sup>7</sup>; (b) que la realidad está en desarrollo; (c) que existe una escala de *riqueza* ascendente<sup>8</sup> y (d) que la realidad más rica conocida está en el vértice de la pirámide de la evolución emergente (Morgan, 1923: 203).

Por último, al tratar de explicar el motor en la emergencia, quiere eliminar toda sospecha de agencia, al contrario que otros emergentistas de su época como Alexander y para ello recurre a las *relaciones* entre componentes como responsables de la aparición de nuevos niveles. Considera dos tipos de relaciones, unas intrínsecas, las que se dan dentro de la misma totalidad o sistema y otras extrínsecas, las que se dan entre varios sistemas (Morgan, 1923: 19). En esta parte de la obra Morgan hace un esbozo de las ideas de organización y reflexividad y no reflexividad en la relación entre niveles que son importantes en las perspectivas organizacionales desde (Polanyi, 1968) hasta (Moreno y Mossio, 2015) entre otros.

### **3.2. C.D. Broad, el vitalismo emergente y la formalización de la emergencia.**

C. D. Broad utiliza el concepto de emergencia en su obra *Mind and Its Place in Nature* para dilucidar entre la existencia de uno o varios tipos de sustancia material, es decir, entre posiciones monistas y pluralistas (Broad, 1925: 38) a la hora de investigar la naturaleza de la mente. La idea es, mediante la emergencia, buscar un punto intermedio que elimine los problemas del mecanicismo y del vitalismo como formas de explicación monista y dualista clásicas (Blitz, 1992: 117), aunque quizá más como contraste con el primero que con el segundo (Mclaughlin, 1992: 75). Por un lado, duda de un *puro mecanicismo* y por otro de un *vitalismo sustancial*, que califica de entelequia y misterioso. No dice que sea imposible, pero afirma que es altamente insatisfactorio. (Broad, 1925: 57). En esta doble negación es donde Broad adopta la emergencia en el denominando *vitalismo emergente* (1925: 58), para lo que desarrolla lo que denomina *teoría de la emergencia* suponiendo la primera formalización del concepto. La teoría parte de la existencia de ciertos *todos* formados por distintos componentes A, B y C en una rela-

---

7 En (Morgan, 1923: 9) usa *supervene* con el significado de inesperado, como un sinónimo de emerger y modifica esta palabra para construir *supervenience* con un significado cercano a la causación descendente.

8 Morgan usa *richness* para referirse a cercano a la perfección, a la deidad.

ción R, tales que todos aquellos que cumplen la misma relación  $R(A, B, C)$  tienen las mismas propiedades características. Añade que los mismos componentes pueden formar otras relaciones diferentes, por ejemplo  $S(A, B, C)$  de forma que tendrán otras propiedades diferentes. Finaliza afirmando que las propiedades de cada todo no pueden ser deducidas del completo conocimiento de las propiedades aisladas de A, B y C ni de otros todos diferentes a  $R(A, B, C)$  (Broad, 1925: 61). Esta última cláusula, es el elemento diferenciador de la emergencia y por lo tanto el aspecto rechazado por el mecanicismo. Formulada de otra forma, se podría decir que los elementos A, B y C forman un todo en relación R, como bien podrían formar en relación S, sin que haya ninguna razón en los propios componentes, para que formen uno u otro. Broad se asombra de que los mecanicistas vean «*algo anticientífico y sobrenatural en la emergencia*» (1925: 73) pero a falta de justificación, no parece tan extraña esta opinión.

Como prueba de la emergencia habla de la necesidad del análisis *top-down* que ya vimos en Morgan, ejemplificada con el cloruro de plata.

*No cabe duda de que las propiedades del cloruro de plata están completamente determinadas por las de la plata y el cloro; en el sentido de que siempre que se tiene un conjunto compuesto por estos dos elementos en determinadas proporciones y relaciones se tiene algo con las propiedades características del cloruro de plata, y que nada tiene estas propiedades excepto un conjunto compuesto de esta manera. Pero la ley que conecta las propiedades del cloruro de plata con las de la plata y el cloro y con la estructura del compuesto es, hasta donde sabemos, una ley única y última.*” (1925: 64)

Así, ve el puro mecanicismo como *a priori* satisfactorio pero con un problema irresoluble de las propiedades emergentes y como *teóricamente* posible (1925: 70), pues considera una serie de limitaciones reales: a) problemas de cálculo para predecir una cualidad macroscópica a partir de las propiedades de sus componentes, problema que solventa con la participación del *alter ego* del demonio laplaciano al que denomina arcángel matemático; y b) dificultad de conocer toda la información microscópica. Aun así habría un límite teórico en los *qualia*. En el caso del amoníaco, el arcángel matemático podría determinar muchas de las propiedades del compuesto “*pero sería totalmente incapaz de predecir que una sustancia con esta estructura debe oler como lo hace el amoníaco cuando llega a la nariz humana*”. (1925: 71).

Broad conjuga el enfoque mecanicista con el emergentista, abogando por niveles crecientes de complejidad regidos por dos tipos de leyes: unas leyes intra-ordinales o intra-nivel, que rigen dentro de cada nivel de un modo perfectamente mecanicista, y otras transordinales o íter-nivel que “*conectan los agregados de los ordenes adyacentes*” (1925: 77-78).

Tras los emergentistas británicos, la emergencia sufrió un eclipse durante el segundo cuarto del siglo XX con el advenimiento del positivismo lógico del que resurgiría mediada la década de 1960, primero de la mano de Meehls y Sellars y seguido de (Campbell, 1974) y (Sperry, 1969) con el moderno desarrollo de la superveniencia y la causación descendente después. No obstante, esto implicaría un desarrollo mucho más amplio.

#### 4. Conclusiones

La idea de fondo de las propiedades emergentes, la imposibilidad de llegar a los *todos* desde sus *partes* puede considerarse ubicua, como decía en la época Charles Baylis (1929) o ser criticada, también ese primer cuarto del siglo XX por filósofos como Stephen Pepper (1926) quién intentó dilucidar si las propiedades emergentes eran algo especial o meros epifenómenos.

Klee basándose en la crítica de Pepper<sup>8</sup> sobre la emergencia, concluyó que esta tenía los cuatro pilares fundamentales descritos en la introducción y que he ido localizado históricamente a lo largo del texto. Así hemos visto como Mill empieza hablando de la novedad genuina y la impredecibilidad en sus leyes heteropáticas; como Lewes acuña el término emergencia y lo saca del mundo de la química resaltando la genuinidad, sobre todo en lo relativo a la biología y a la idea de mente; como Spaulding habla de la relación parte todo estableciendo el primer contacto con la causación descendente y haciendo referencia a esta relación como la clave en el concepto de emergencia, así como distingue entre los todos orgánicos de los demás diferencia que sitúa precisamente en la existencia de propiedades emergentes y de la realizabilidad múltiple.

Igualmente hemos visto como los emergentistas británicos usaron la emergencia para sus fines filosóficos, al igual que se hace hoy en día. Así, Morgan la utilizó para crear una teoría de la evolución que prescindía del gradualismo darwiniano, haciendo hincapié en la genuinidad de las novedades emergidas y en la necesidad de un análisis *top-down* previo a un *bottom up* y en la importancia de las relaciones para eliminar la agencia causal, Alexander considera el espacio-tiempo como el componente fundamental de todo lo existente y Broad formaliza la emergencia e intenta conjugar eliminar el problema del vitalismo apoyándose en esta teoría.

En definitiva, los pilares de la emergencia ya estaban consolidados en los albores del siglo XX y ya fueron utilizados e interpretados de formas diferentes para los diferentes fines filosóficos, como se hace igualmente hoy. No obstante, a pesar de estar identificados, clasificados en sus múltiples variantes desde distintos puntos de vista y catalogados en relación con el uso que se le da, no existe aún ningún dato concluyente de su existencia. La existencia de propiedades emergentes implica establecer una continui-

---

8 Ver (Cáceres y Saborido, 2017)

dad a la vez que una discontinuidad entre los niveles superiores e inferiores, es decir, entre la entidad emergente y su base subyacente (Sartenaer 2016, 4) lo que implica cierto grado de concesiones muy dependientes del enfoque previo. De esta forma, según la *concesión* llevada a cabo, Sartenaer (2016, 8) sitúa los distintos tipos de emergencia. Creo que la consideración de nivel de organización es clave para hablar de emergencia y a eso he dedicado mis trabajos previos ya citados y los que se encuentran de desarrollo. Estas diferencias no son significativas en el contexto de este trabajo, pero si lo son para la comprensión de la utilidad explicativa de las propiedades emergentes en los enfoques mecanicista tratado en (Cáceres y Saborido, 2018) (Cáceres, 2019) y organizacional, como estoy desarrollando en mi investigación presente, actualmente en revisión.

## Bibliografía

- ALEXANDER, Samuel (1920). *Space, Time, and Deity. Vol 2.* London: Mcmillan.
- BAYLIS, Charles (1929). “The Philosophic Functions of Emergence”. *The Philosophical Review* 38, no. 4: 372-84.
- BICKHARD, Mark y Donald T. CAMPBELL (2000). *Emergence.* P. V. Christiansen (Eds.) Downward Causation. University of Aarhus Press. In P. B. Andersen C. Emmeche, N. O. Finnemann. Aarhus, Denmark.
- BLITZ, David (1992). *Emergent Evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality.* Springer-Science + Business Media, B.V.
- BOWLER, Peter B (1998). *Historia Fontana de las ciencias ambientales.* Editado por Fondo de Cultura Económica. México D.F.
- BROAD, Charlie D. (1925). *The Mind and Its Place in Nature.* London: Routledge.
- BUNGE, Mario (2004). *Emergencia y convergencia.* Barcelona: Gedisa.
- CÁCERES, Emilio (2011). *Creacionismo y diseño inteligente frente a evolución.* Un debate inexistente. Editorial Hélice. Madrid.
- (2019). “Intervals of quasi-decompositionality and mechanistic explanations”. *Quaderns de filosofia* 6, no. 1: 15-27.
- CÁCERES VÁZQUEZ, Emilio, y Cristian SABORIDO. 2017. “Intervalos de cuasi-descomponibilidad y propiedades emergentes”. *Theoría* 32 (1):89-108.
- . 2018. “Realmente mató la bacteria al coronel?: Perspectiva sistémica, causación internivelica e intervalos de cuasi-descomponibilidad en las explicaciones mecanísticas”. *Theoria. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia* 33 (1): 129–148
- CAMPBELL, Donald T (1974). “Downward Causation in Hierarchically Organized Biological Systems”. in F. Ayala, and T. Dobzhansky (eds.), *Studies in the Philosophy of Biology, Berkeley, University of California Press,* 179-86.
- CRANE, Tim (2001). “The significance of emergence”. En *Physicalism and its Discontents*, editado por C. Gillett & B. M. Loewer, 207-24. Cambridge: Cambridge University Press.
- CRAVER, Carl F. 2007. *Explaining the brain: Mechanisms and the mosaic unity of neuroscience.* Oxford University Press.
- DARWIN, Charles (1859). *El origen de las especies.* Editado por Akal Bolsillo. Madrid.
- (1871). *El origen del hombre. Volumen I.* Editado por Edimat Libros. Vol. I. Madrid.
- HAECKEL, Ernst (1892). “Our Monism: The Principles of a Consistent, Unitary World-View”. *Monist*, 1892.
- KIM, Jaegwon (1999). “Making sense of emergence”. *Philosophical Studies* 95: 3-36.
- KLEE, Robert (1984). “Micro-Determinism and Concepts of Emergence”. *Philosophy of Science* 51: 44-63.
- LEVINE, Ira N.(2001). *Química cuántica.* 5º edición. Madrid: Pearson Education.
- LEWES, George Henry (1874). *Problems of Life and Mind, first series, 2 vols.* London: Truebner & Co.
- (1877). *Problems of Life and Mind, second series.* Boston: J. R. Osgood.

- (1879). *Problems of Life and Mind, third series, 2 vols.* London.
- MCLAUGHLIN, Brian P. (1992). “The Rise and Fall of British Emergentism”. En *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, editado por Ansgar Beckermann, Hans Flohr, y Jaegwon Kim, pp: 49-93. De Gruyter.
- MILL, John Stuart (1843). *A system of logic: ratiocinative and inductive.* [8th, 1872]. London: Longmans, Green, Reader, and Dyer.
- MORENO, Alvaro, y Matteo MOSSIO. 2015. *Biological autonomy. A Philosophical and Theoretical Enquiry.* Springer.
- MORGAN, C. Lloyd (1923). *Emergent evolution.* Editado por Williams y Norgate. 2º edition. London.
- NAGEL, Ernest (1961). *La estructura de la ciencia.* Editado por Paidós. 1ª Ed. 2006. Surcos.
- O’CONNOR, Timothy (2002). «Emergent Properties». in Edward N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Winter 2002 Edition.* URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/win2002/entries/properties-emergent/>>.
- POLANYI, Michael. 1968. “Life’s Irreducible Structure”. *Science, New Series*, 160 (3834): 1308-12.
- PEPPER, Stephen C. (1926). “Emergence”. *Journal of Philosophy*, n.º 23: 241-45.
- PIIROINEN, Tero (2014). “Three Senses of “Emergence”: On the Term’s History, Functions, and Usefulness in Social Theory». *Prolegomena: časopis za filozofiju* 13(1): 141-61.
- ROMANES, George John (1895). *Mind and Motion and Monism.*,. Editado por Green Longmans y Co. New York: ed. C. Lloyd Morgan,.
- SARTENAER, Olivier (2016). “Sixteen years later: Making sense of emergence (again)”. *Journal for General Philosophy of Science* 47, no. 1: 79-103.
- SPAULDING, Edward G. (1912). *The New Realism: Cooperative Studies in Philosophy.* New York: The Macmillan Company.
- (1918). *The New Rationalism: The Development of a Constructive Realism Upon the Basis of Modern Logic and Science Through the Criticism of Opposed Philosophical Systems.* New York.
- SPERRY, Roger W (1969). “A modified concept of consciousness”. *Psychological review* 76, no. 6: 532.
- STEPHAN, Achim (1992). “Emergence: A Systematic View on its Historical Facets”. En *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, editado por Ansgar Beckermann, Hans Flohr, y Jaegwon Kim, pp: 25-48. DE GRUYTER.
- WALLACE, Alfred R. (1871). *Contributions to the Theory of Natural Selection: A Series of Essays.* London: Mcmillan & Co.
- WIMSATT, William C (2000). “Emergence as Non-Aggregativity and the Biases of Reductionism”. *Foundations of Science* 5, no. 3: 269-97.



**13.5 Cierre organizacional, intervalos de cuasi-descomponibilidad y causación internivélica. ¿Son las organizaciones biológicas regímenes emergentes de causalidad? (2022). Emilio Cáceres y Cristian Saborido. En revisión.**



**CIERRE ORGANIZACIONAL, INTERVALOS DE CUASI-DESCOMPONIBILIDAD Y CAUSACIÓN INTERNIVÉLICA. ¿SON LAS ORGANIZACIONES BIOLÓGICAS REGÍMENES EMERGENTES DE CAUSALIDAD?**

*Organisational closure, quasi-decomposability intervals and internivelical causation: are biological organisations emergent regimes of causation?*

**Emilio Cáceres Vázquez**

(en revisión)

**Resumen**

El comportamiento de los sistemas complejos se ha abordado en muy diferentes disciplinas desde enfoques que apelan a la autoorganización como una propiedad clave de ciertas entidades, como los organismos biológicos. Una de las propuestas actuales más influyentes se basa en la idea de cierre organizacional, esto es, un tipo de organización característico de entidades como los seres vivos en el que puede identificarse un cierre de constricciones que da lugar a propiedades con poderes causales que determinan el automantenimiento. Estas propiedades son consideradas usualmente como emergentes. En este trabajo se defiende que, aunque esta idea de cierre organizacional tiene una valiosa capacidad explicativa, no conlleva necesariamente la asunción de un emergentismo ontológico. Desde una perspectiva que parte de la noción de cuasi-descomponibilidad de Herbert Simon, en este trabajo se desarrolla una caracterización de la idea de cierre organizacional como principio explicativo compatible con una interpretación ontológica reduccionista, en tanto en cuanto no precisa de la postulación de propiedades emergentes, pero también epistemológicamente no eliminativista, pues entiende que la noción de cierre de constricciones tiene un irrenunciable valor heurístico para el discurso biológico.

**Palabras clave:** Organización, constricciones, emergencia, reduccionismo, intervalos de cuasi-descomponibilidad, causación internivel, auto-mantenimiento.

**Abstract**

The behavior of complex systems, such as biological organisms, has been addressed in many different disciplines from approaches that appeal to self-organization as a key property. One of the most influential recent proposals is based on the idea of organizational closure, that is, a form of organization characteristic of entities such as living beings in which a closure of constraints can be identified, giving rise to properties with causal powers that determine self-maintenance. These properties are usually regarded as emergent. In this paper it is argued that, although this idea of organizational closure has a valuable explanatory power, it does not necessarily imply the assumption of ontological emergence. From a perspective that departs from Herbert Simon's notion of quasi-decompositionality, this article develops a characterization of the idea of organizational closure as an explanatory principle that is compatible with a reductionist ontological interpretation, insofar as it does not require the postulation of emergent properties, but it is also epistemologically non-eliminative, since it recognizes that the notion of closure of constraints has an undeniable heuristic value for biological discourse.

**Keywords:** Organization, constraints, emergence, reductionism, intervals of quasidecompositionality, interlevel causality, self-maintenance.

## 1. Introducción

Es ya un lugar común asumir que uno de los conceptos clave para describir el comportamiento de ciertos sistemas complejos es el de auto-organización. La capacidad de auto-organización de los sistemas hace referencia al proceso por el cual las interacciones locales entre los elementos de un sistema producen patrones de comportamiento sin que para ello sea necesario ningún tipo de coerción o control externo (Anderson 2002, 248-49). Una perspectiva cada vez más influyente en áreas como la filosofía de la biología fundamenta esta idea de auto-organización para ciertos sistemas en el cierre organizacional, es decir, la interacción íntima entre constricciones que da lugar a propiedades con poderes causales que determinan el automantenimiento (Varela y Bourguine 1992, Van de Vijver y Chandler 2000, Mossio y Moreno 2010, Montevil y Mossio, 2015). Así, este cierre organizacional parece fundamentarse en una relación de emergencia entre los componentes de un sistema y sus capacidades o propiedades globales, lo que conduce por tanto a la postulación de propiedades ontológicamente irreducibles con poderes causales distintivos (esto es, propiedades emergentes). El cierre organizacional sería por tanto una propiedad distintiva de ciertos sistemas, como los seres biológicos, que permite explicar los fenómenos de auto-organización y auto-mantenimiento (Mossio, Bich, y Moreno 2013, 153).

En este trabajo, sostenemos que el cierre organizacional puede interpretarse como una propiedad de nivel, concepto que parte de la noción de cuasi-descomponibilidad propuesta originalmente por Herbert Simon (Simon 1962) y que ya ha sido desarrollada en (Cáceres y Saborido 2017) y en (Cáceres y Saborido 2018). Defendemos que esta interpretación permite entender la noción de cierre organizacional como un principio explicativo, evitando así una innecesaria carga metafísica. En otras palabras, es posible ver el cierre organizacional como una propiedad efectiva de ciertos sistemas, tales como los seres vivos, pero sin necesariamente asumir un emergentismo ontológico.

Así, en este artículo presentamos, en primer lugar, la idea de cierre organizacional basada en el cierre de constricciones, la cual se ha defendido como una propiedad emergente. Tras esto, se introduce la noción simoniana de nivel como intervalo de cuasi-descomponibilidad, y se argumenta que esta ofrece un criterio operacional para determinar entidades-sistema que resultan muy útiles para describir las propiedades de los sistemas con cierre organizacional. De esta forma, se defiende que las propiedades aparentemente emergentes de estos sistemas pueden tratarse como propiedades de nivel, lo que permite una interpretación reduccionista, en tanto en cuanto no precisa de la postulación de la existencia de

propiedades emergentes, pero también no eliminativista, pues entiende que nociones como auto-organización, emergencia o causalidad internivel tienen un irrenunciable valor heurístico en el discurso científico sobre los sistemas complejos<sup>1</sup>.

## 2. El cierre de constricciones como propiedad distintiva de los seres vivos

Tal y como señalan Álvaro Moreno y Matteo Mossio en su *Biological Autonomy. A Philosophical and Theoretical Enquiry* (Moreno y Mossio 2015), desde que Francisco Varela hablara del sistemas operacionalmente cerrados (Varela 1979, 58), la idea de cierre ligada a la autonomía ha trazado una línea de pensamiento en la filosofía de la biología en la que destacan los trabajos de autores como Howard Pattee, Robert Rosen o Stuart Kauffman (Moreno y Mossio 2015, 1). De forma general, se puede describir el cierre organizacional como el régimen causal distintivo de los sistemas biológicos. En los sistemas organizacionalmente cerrados el conjunto de constituyentes se producen y mantienen entre sí a través de una red de interacciones mutuas, de manera que se puede decir que todo el sistema es colectivamente capaz de auto-producirse y auto-mantenerse (Mossio, Bich, y Moreno 2013, 154).

Esta definición es lo suficientemente restrictiva como para diferenciar el cierre organizacional de otro tipo de régimen causal, como el auto-mantenimiento, la homeostasis o el *feed-back* negativo, y lo suficientemente general como para poder ser aplicado a todos los procesos de auto-mantenimiento biológico. No obstante, y como apuntan también Moreno y Mossio (2015, 2), el concepto de cierre no tiene una definición única.

Una de las propuestas más desarrolladas en los últimos años interpreta el cierre organizacional como cierre de constricciones, en línea con las propuestas de Pattee, quien definió las constricciones como "*causas locales y contingentes, ejercidas por estructuras o procesos específicos, que reducen los grados de libertad del sistema sobre el que actúan*" (Pattee 1972). Así, las constricciones son entidades que actúan sobre las condiciones de entorno que permiten que una estructura dinámica alejada del equilibrio termodinámico se auto-mantenga (Moreno y Mossio 2015, 11).

---

1 Quizá valga la pena señalar que este trabajo no es una presentación de un nuevo tipo de reduccionismo, ni está planteado como una crítica al emergentismo, en cualquiera de sus formas, como posición filosófica legítima. Simplemente se argumenta aquí que la noción de cierre organizativo no requiere asumir un emergentismo ontológico, sino que es perfectamente consistente con un enfoque reduccionista ontológico clásico en el que "el todo no es más que la suma de sus partes", en línea con los puntos de vista explicados, por ejemplo, por Nagel 1949 o Rosenberg 2007. Los detalles del reduccionismo ontológico particular que respaldamos han sido desarrollados en Cáceres y Saborido 2017 y 2018. Es posible que otras estrategias reduccionistas sean también aplicables al enfoque organizativo. Para los fines de este artículo, sólo hemos resumido los principales aspectos de este reduccionismo basado en la concepción de nivel como ICD en las secciones 3 y 4.

Esta es una propiedad distintiva de los seres vivos, pues no todas las organizaciones en las que se da un auto-mantenimiento presentan un cierre de constricciones. Estructuras como los sistemas disipativos de (Prigogine 1978) (huracanes de viento, remolinos de agua, células de Bènard, etc.) son auto-organizativas y su acción global contribuye a su automantenimiento, pero no presentan un cierre de constricciones, tal y como lo hacen los seres biológicos, los cuales instancian un sistema complejo de constricciones que dependen entre sí de forma mutua. En palabras de Moreno y Mossio:

*Biological systems, like many other physical and chemical systems, are dissipative systems, which means, in a word, that they are traversed by a flow of energy and matter, taking the form of processes and reactions occurring out of thermodynamic equilibrium. In this respect, organisms do not differ qualitatively from other natural dissipative systems. However, what specifically characterises biological systems is the fact that the thermodynamic flow is channelled and harnessed by a set of constraints in such a way as to realise mutual dependence between these constraints. Accordingly, the organisation of the constraints can be said to achieve self-determination as self-constraint, since the conditions of existence of the constitutive constraints are, because of closure, mutually determined within the organisation itself. As autonomous systems, biological systems do not realise some sort of “process loop” determined by a set of externally determined boundary conditions; rather, they act on the thermodynamic flow to maintain the network of constraints, which are organised as a mutually dependent network. (Moreno y Mossio 2015, 5-6)*

En un cierre de constricciones se da una influencia mutua entre distintas entidades, a la que se denomina “acción constrictiva”, que permite el auto-mantenimiento. Al contrario de lo que ocurre con la mayoría de los sistemas físicos, el automantenimiento de los sistemas con cierre de constricciones no está únicamente determinado externamente por las condiciones de contorno, sino que está también internamente determinado (Mossio y Bich 2017) dado que el conjunto de constricciones es responsable de la acción constrictiva de cada una de las constricciones que forman parte de este conjunto. Cada constrictión particular ejerce una influencia causal en otras constricciones y, al mismo tiempo, son causalmente influidas por otras constricciones, dando lugar a un régimen causal que, en último término, conlleva el automantenimiento global.

Una constrictión sería, por ejemplo, una enzima. Las enzimas son proteínas formadas por aminoácidos, a su vez formados por átomos de los bioelementos principales (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y, en menor medida, azufre), cuyo papel biológico consiste en llevar a cabo las reacciones químicas del metabolismo celular. En ausencia de la enzima adecuada, dos sustratos no reaccionarían entre sí en condiciones biológicas de presión y temperatura, pero en su presencia, se lleva a cabo una significativa rebaja de la energía de activación de forma que estas reacciones pueden tener lugar. Es por tanto posible decir que la presencia de enzimas restringe las opciones de los sustratos, reduciendo sus grados de libertad y canalizándolas de forma tal que hacen posible los procesos metabólicos celulares.

Además, la acción constrictiva de las enzimas, en este caso la acción catalizadora, es una condición necesaria para la formación y acción de otras enzimas, de forma que se forma un cierre de constricciones entre éstas, gracias a estas propiedades emergentes que son las acciones constrictivas de las enzimas.

Consecuentemente, el cierre organizacional de constricciones es entendido como un régimen emergente de causalidad: la organización que emerge de esta interacción entre las constricciones biológicas tiene un poder causal con respecto a las mismas constricciones, en tanto en cuanto determina su comportamiento (Mossio, Bich, y Moreno 2013, 155). Por ejemplo, las propiedades catalíticas de las enzimas emergen de las de los átomos que las componen, es decir, no son reducibles a éstas pues solamente son identificables y describibles en el nivel de la organización celular. Esto parece asumir además una causación descendente internivel: el cierre de constricciones es una propiedad de los sistemas biológicos en un nivel (el de la organización) que tiene propiedades que influyen causalmente en el comportamiento de los componentes del sistema a niveles inferiores (como el auto-mantenimiento biológico) y que no son reducibles a estos.

Así pues, la noción de cierre de constricciones parece asumir la existencia de propiedades emergentes con poderes causales distintivos:

*“[C]onstraints are configurations that, by virtue of the relations existing between their own constituents, possess emergent properties enabling them to exert distinctive causal powers on their surroundings, and specifically on thermodynamic processes and reactions. When a set of constraints realises closure, the resulting organisation constitutes a kind of second-level emergent regime of causation, possessing irreducible properties and causal powers: in particular, organisations are able to self-determine (and more precisely to self-maintain) as a whole (something which none of their constitutive constraints are able to do)”.*  
(Moreno y Mossio 2015, 61)

En este artículo vamos a cuestionar precisamente estas asunciones emergentistas. Argumentamos que la idea de cuasi-descomponibilidad de Herbert Simon permite una reinterpretación reduccionista del cierre de constricciones. En primer lugar, sostendremos que las propiedades aparentemente emergentes pueden interpretarse como propiedades de nivel según un enfoque simoniano. Además, sostenemos que la distinción entre niveles (entendidos como intervalos de cuasi-descomponibilidad) es algo que depende del foco de observación. En respuesta a lo defendido por Mossio, Bich y Moreno (2013) defendemos que el cierre organizacional no puede considerarse como un régimen emergente de causalidad y que todo tipo de causación internivélica es susceptible de ser descrito en términos reduccionistas. De hecho, la misma noción de individualidad puede abordarse también como una propiedad de nivel; y la causación internivel, tanto reflexiva como no reflexiva, no sería sino una consecuencia de una asincronía en la asunción de causalidad. En conclusión, si bien la idea de cierre de constricciones es una buena

herramienta para el estudio y la comprensión de los sistemas vivos, esta no conlleva necesariamente la asunción de una emergencia de propiedades causales en un sentido ontológico fuerte. El cierre de constricciones es, principalmente, un recurso explicativo con un gran valor heurístico.

### 3. Nivel como intervalo de cuasi-descomponibilidad

El concepto de nivel que vamos a desarrollar en este trabajo parte de la idea de cuasi-descomponibilidad introducida por Herbert Simon (Simon 1962) para referirse a cierta forma de descomponer un sistema basada en un valor arbitrario  $\epsilon$  dando lugar a subsistemas con cierto tipo de influencia entre ellos. Simon distinguía esta forma de cuasi-descomposición de la descomposición completa en la que la influencia entre los subsistemas era inexistente (véase Cáceres y Saborido 2017, 94). Así, no parece posible identificar en ningún caso sistemas completamente descomponibles, pues por pequeña que sea la influencia entre dos particiones de un sistema, esta nunca será nula y por tanto no cumplirá la propiedad principal atribuida a este tipo de sistemas. Un ejemplo sería el planeta Tierra que, aunque pueda parecer claramente descomponible respecto de los demás astros del sistema solar, está influido por ellos, pues la mayor parte de la energía procede del Sol, la velocidad de rotación está poderosamente influida por la Luna y ésta afecta directa y significativamente a la dinámica de las mareas. Toda descomposición de un sistema en subsistemas es una cuasi-descomposición en base a un criterio elegido por el observador. Así, es posible partir el continuo material en base a varios criterios  $\epsilon_n$  de forma que un sistema quede dividido en subsistemas cuasi-descomponibles anidados, cada uno de ellos definido por un intervalo de cuasi-descomponibilidad.

Un ejemplo de criterio para dividir el continuo material es, como también apuntó (Simon 1962, 474), la energía necesaria para separar dos elementos. Si establecemos como criterio de cuasi-descomponibilidad un criterio energético, tendremos que podemos distinguir entre elementos en función de la energía que los mantiene unidos. De esta forma, una molécula de  $H_2O$  es el resultado de la unión de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno unidos mediante dos enlaces covalentes simples H-O, cada uno de los cuales tiene una energía de enlace (es decir, aquella que se desprende de la unión de componentes enlazados o dicho de otra forma, la necesaria para separarlos) de 460 KJ/mol. Por tanto, si el observador establece un criterio de cuasi-descomponibilidad  $\epsilon$  por encima de ese valor, considerará tres elementos separados, los átomos, pero si lo considera por debajo, podrá hablar de una molécula de agua. Siguiendo con el agua, varias moléculas de  $H_2O$  se unen entre sí mediante puentes débiles de hidrógeno. Estas uniones se producen por el desplazamiento de los electrones compartidos dentro de la molécula de agua al ser el oxígeno más electronegativo que el hidrógeno. Este desplazamiento genera una polaridad en la molécula que provoca una atracción electrostática con moléculas propias. En el caso del agua, se produce entre el hidrógeno de una molécula (con carga parcial positiva  $\delta^+$ ) y el oxígeno de otra molé-

cula, (con carga parcial negativa  $\delta^-$ ). Este enlace débil tiene una energía, en el caso del que se forma en el agua, de 21 KJ/mol.

Con estos datos parecería obvia la distinción entre moléculas por debajo de 460 KJ/mol y por encima de 21 KJ/mol, pero en realidad no resulta tan evidente. Cada tipo de enlace, hidrógeno – oxígeno (H-O), hidrógeno – hidrógeno (H-H), oxígeno- oxígeno (O=O), etc., tiene valores diferentes, que oscilan entre los 142 KJ/mol de un enlace O-O y los 941,4 KJ/mol de un enlace C $\equiv$ N. Por su parte, los puentes de hidrógeno también se mueven en un amplio rango que oscila entre los 8 KJ/mol de la interacción N-H...H y los 155 KJ/mol de la unión F-H...F. Tras un análisis comparativo, vemos que los valores energéticos para considerar uniones intra o intermoleculares se solapan (en el caso del O-O y del F-H...F) por lo que no hay un criterio único posible para elegir los intervalos. La consideración de átomo o de molécula no es tajante, pues depende de dónde el observador sitúe la distinción y cuántas distinciones haga. Así, desde esta perspectiva energética, podemos elegir diferentes en que nos determinarán diferentes intervalos, comenzando por un nivel que consideremos como fundamental<sup>2</sup> y terminando por un nivel macroscópico M, pasando por múltiples niveles mesoscópicos anidados. Comenzando en los átomos (o, si se prefiere en los leptones, los quarks o los hadrones), podemos esgrimir razones energéticas para establecer valores de en que discriminen moléculas, células, organismos, poblaciones, etc.<sup>3</sup> Esta partición longitudinal de la materia en función de intervalos de cuasi-descomponibilidad (ICD) es asimilable a la clásica partición en niveles de organización. Y lo es en base a un criterio, el energético, que, si bien parte también de una cierta subjetividad, en tanto en cuanto no hay una razón energética objetiva para elegir este o aquel valor, no supone una elección absurda, pues pueden elegirse los valores de forma que encajen con los niveles considerados por los científicos, como son el nivel atómico, molecular, etc. Una consecuencia de la determinación de los niveles como ICD es la definición de los elementos propios de ese intervalo. Así, al determinar el ICD atómico, delimitamos los átomos, y al hacer lo propio con el nivel ICD molecular, definimos las moléculas. Una vez definidos los ICD, la investigación científica se encargará de su estudio y los describirá estructural y funcionalmente partiendo de

---

2 Este nivel apromblemático o fundamental F sería el nivel más básico en el cuál pudiesen abordarse las propiedades físicas; nivel que, independientemente de las complicaciones derivadas de los nuevos desarrollos de la física, sería el nivel último que constituye la base para un reduccionismo ontológico. Esto va en la línea de lo defendido explícitamente por autores como Machamer, Darden y Craver (Machamer, Darden, y Craver 2000, 13) y Glennan (Glennan 1996, 50). No es relevante en este punto aclarar cuáles serían las entidades que componen este nivel fundamental, sino que basta con señalar que, desde una perspectiva reduccionista y holista, se asume por principio la existencia de un nivel tal que constituiría el nivel de descripción de la materia a partir del cual ya no sería posible reducir más en la explicación.

3 Aunque al tratar con organismos o poblaciones no parece muy práctico utilizar la energía de enlace como criterio de descomponibilidad, es igualmente evidente que la unión entre individuos de una población es más débil que entre sus células.

un cierto nivel de observación. En función de sus metas epistémicas, el observador tomará solo aquellos inputs y outputs que considere necesarios estableciendo un sistema modelo que supondrá una simplificación heurística de la realidad. Esta pixelación se amplifica conforme ascendemos de nivel de manera que las generalizaciones observadas serán igualmente inexactas a cambio de resultar explicativas y predictivas.

#### **4. Propiedades emergentes e intervalos de cuasi descomponibilidad**

Desde este enfoque, las entidades resultantes de cualquier elección de un  $en$ , son entidades-sistema (Cáceres y Saborido 2018, 139) con un conjunto de propiedades obtenidas de la simplificación realizada. De esta concepción se deriva que, conforme ascendemos ICD vamos encontrando distintas entidades-sistema con distintas propiedades. Estas entidades interactúan con otras de su mismo ICD conforme a sus propiedades, configurando así un mecanosistema<sup>4</sup> que, visto desde la perspectiva superior, supone una entidad-sistema del siguiente nivel. Las propiedades de estas entidades-sistema pueden denominarse propiedades de nivel, pues se manifiestan solamente en el nivel de observación. Se trata de las propiedades tradicionalmente consideradas propiedades emergentes, pues se manifiestan impredecibles y genuinamente novedosas, entre otras características clásicas de dichas propiedades (ver (Klee 1984, 48) y (Cáceres y Saborido 2017, 93)). Sin embargo, las propiedades de nivel no emergen en el sentido habitual de la palabra, sino que son resultantes de las propiedades subyacentes en un sentido físico. Por decirlo en términos clásicos, no son más que el resultado de “la suma de las partes”. Hay varias razones para que dichas propiedades parezcan impredecibles y novedosas: una de ellas es la falta de conocimiento detallado sobre las mismas, como ya apuntaron (Mill 1843, 269) y (Spaulding 1912, 241); otra se debe a cuestiones heurísticas, pues una vez que se consiguen hacer predicciones suficientemente satisfactorias a un nivel, puede volverse (más o menos voluntariamente) innecesario investigar más en los niveles inferiores; una tercera se debe a la rígida diferenciación entre entidad y entorno, que obvia las posibles influencias entre ellos; una cuarta es la forma clásica de investigar mediante análisis top-down, que delimita los fenómenos desde un nivel de observación preestablecido; etc.. Estas razones explicarían por qué algunas propiedades observables en ciertos niveles son vistas como emergentes en un sentido ontológico fuerte, es decir, como propiedades de un sistema que ninguna de sus entidades componentes posee y que no pueden derivarse de las propiedades de estas (Bunge 2004, 32).

#### **5. ¿En qué sentido el cierre de constricciones es una propiedad emergente?**

---

4 Un mecanosistema (MS) es un conjunto de entidades-sistema, pertenecientes a un intervalo de cuasidescomponibilidad, cuya organización y propiedades son debidas exclusivamente a las propiedades de sus componentes y son simplificadas en función del nivel de observación y con fines heurísticos. Esto se puede ver más desarrollado en (Cáceres y Saborido 2018) y en (Cáceres 2019)

En el caso de los sistemas con cierre de constricciones, parece asumirse un emergentismo de las propiedades del conjunto de la organización con respecto a las propiedades de cada una de las constricciones. Así, para Mossio, Bich y Moreno (2013)<sup>5</sup>, el cierre de constricciones supone un régimen causal emergente en tanto en cuanto presenta propiedades que son irreducibles a las propiedades de los niveles más básicos, aún cuando estas se deriven de las propiedades de estos niveles. Desde el enfoque de estos autores, el tipo de emergencia observable en el nivel del cierre de constricciones se fundamenta principalmente en la relación entre los componentes de ese nivel:

*[E]mergent properties do not need to be irreducible to their supervenience base to possess distinctive causal powers: what matters is that configurations, because of relatedness, possess irreducible properties with respect to their subsets, substrate and (relevant) surroundings. (...) For instance, all chemical bonds are configurations emergent on their parts, substrate and surroundings, since they realize new relations, and therefore possess distinctive configurational properties. Yet, the fact that this definition covers also irrelevant or obvious cases is, we argue, the price to pay for making it compatible with the constitutive interpretation of the relations between the whole and the parts. More generally, we hold that this characterization of emergence is sufficient to provide a justification for the appeal to distinctive and irreducible causal powers in the scientific discourse, and specifically in biology. Emergence appears whenever scientists are dealing with a system, as biological ones, whose properties are irreducible to those of its isolated parts, substrate and surroundings. In such cases, one must introduce new objects, relations and causal powers, which exist only within that very system, and not in its emergent base. (Mossio, Bich y Moreno 2013: 164)*

Consecuentemente, la noción “relacional” de emergencia defendida por Mossio, Bich y Moreno entiende que las configuraciones de elementos en un determinado nivel da lugar a propiedades que no son ontológicamente reducibles a las propiedades de los elementos de niveles más básicos, lo que justifica

---

5 En este trabajo nos centraremos en analizar los argumentos aportados en Mossio et al 2013. Somos conscientes de que el concepto de nivel ha sido abordado por estos autores en trabajos posteriores, aunque de forma indirecta (ver Arnellos & Moreno 2017; Arnellos et al. 2014; Moreno & Suárez 2020). En estos trabajos se examinan casos concretos de transiciones específicas de individualidad, caracterizando las condiciones que deben estar presentes para la transición evolutiva de un estadio a otro (con especial énfasis en el caso del origen de la vida). Estas transiciones se explican en estos trabajos más recientes aludiendo a una noción de nivel basada en lo que denominan "emergencia ontológica débil", que creemos que en realidad es emergencia epistemológica (en la línea de Bich 2012) y perfectamente compatible con la propuesta reduccionista no eliminacionista que presentamos en este trabajo. Argumentamos que la caracterización teórica de la noción de nivel desde el enfoque organizativo es todavía una tarea pendiente, y que interpretar el nivel como un intervalo de cuasi-descomponibilidad nos permite fundamentar teóricamente una noción de nivel bien desarrollada para el marco teórico organizativo y, al mismo tiempo, esta noción es útil para resolver ciertos malentendidos, como el que se aborda en este trabajo de considerar que el concepto de cierre de constricciones implica la asunción de un emergentismo ontológico de algún tipo.

una interpretación emergentista del cierre de constricciones: “*constraints are characterized as configurations emerging on, and acting on, specific surroundings Psurr , i.e. a set of physicochemical changes that involve the movement, alteration, consumption, and/or production of entities in conditions away from thermodynamic equilibrium*” (Mossio, Bich y Moreno 2013: 165). No obstante, estos autores entienden que estas propiedades emergentes se derivan de las propiedades de los niveles más bajos. La emergencia que defienden Mossio, Bich y Moreno no se basa en una idea de superveniencia, sino de propiedades no reducibles, en concreto, de propiedades configuracionales (p.10). La novedad emergente que constituye la irreducibilidad del cierre de constricciones está exclusivamente en la configuración de las constricciones que solamente puede observarse a un determinado nivel.

Una importante consecuencia de esto es que permite hablar de emergencia ontológica sin asumir una causación internivélica. En contra de lo que podría suponerse, el emergentismo ontológico defendido por estos autores no depende de una idea de causación, ni ascendente ni descendente, entre niveles. Mossio, Bich y Moreno (2013) distinguen dos tipos de causación internivélica: por un lado, habría una variante reflexiva de la causación internivélica que apela a la influencia del todo en sus partes (a la que Kim denomina “causación reflexiva” y que estos autores llaman “causalidad anidada”). Por otro lado, habría una causalidad no reflexiva de un todo en las partes de otros todos adyacentes (a la que denominan simplemente “causalidad internivel”) (Mossio, Bich, y Moreno 2013, 169). Para estos autores, es innecesario hablar de causación en el primer caso (el de la “causación anidada”) y no resulta controvertido aceptar la segunda (la causación “internivel” entre entidades diferentes) como un fenómeno obvio. Así, para Mossio, Bich y Moreno, el cierre de constricciones es un fenómeno emergente pero no en el sentido de “causación reflexiva (anidada)” sino en el sentido de “emergencia biológica”:

*We advocated the idea that a coherent defence of closure as an emergent and irreducible causal regime does not need to invoke nested causation. Closed organizations can be understood in terms of causal interactions among mutually dependent (sets of) constraints, without implying upward or downward causal actions between the whole and the parts. Biological emergence, accordingly, is logically distinct from nested causation, and one can advocate the former without being committed with the latter. (Mossio, Bich y Moreno 2013: 176-177)*

De esta forma, Mossio, Bich y Moreno defienden que no hay razones ontológicas que justifiquen hablar de causación internivélica reflexiva en biología, pues todo comportamiento biológico se deriva de las propiedades fundamentales de los organismos biológicos y no hay razones para creer que una descripción lo suficientemente completa de las propiedades configuracionales de los elementos básicos de los seres vivos no pueda dar una explicación de todas las propiedades emergentes del nivel del cierre

de constricciones<sup>6</sup>. Lo que sí conceden es la pertinencia heurística de asumir, por razones puramente prácticas, que un esquema explicativo que considere la causación internivélica es útil para la práctica de la biología (p. 23).

Así pues, el emergentismo ontológico de Mossio, Bich y Moreno no se sustenta en la causación internivélica sino en la asunción de irreducibilidad ontológica de las propiedades del nivel del regimen de cierre de constricciones a los niveles más fundamentales. En las siguientes secciones vamos a argumentar que esta postura carece de una caracterización clara de lo que se está entendiendo por nivel. Estos autores no ofrecen un criterio que permita distinguir niveles más allá de una vaga noción de “niveles de descripción”. Sería conveniente dar una caracterización más detallada de qué criterios se pueden utilizar para constituir estos niveles de descripción, sobre todo para mostrar si estos son o no reducibles unos a otros. En este artículo vamos a aplicar el marco teórico de Simon y definir los niveles biológicos como intervalos de cuasi-descomponibilidad. Como se ha visto en la sección 3, este enfoque permite una caracterización de la idea de nivel que tiene en cuenta tanto las propiedades de los sistemas como los intereses del observador. La interpretación ICD de los niveles sirve para reforzar el argumento de Mossio, Bich y Moreno acerca del valor meramente heurístico de la causación internivel, pero tiene también la implicación de rechazar el sentido “relacional” de la emergencia que defienden estos autores. Además, la causación internivélica no reflexiva, que Mossio, Bich y Moreno entienden como no problemática, se muestra desde este enfoque simoniano tan carente de fundamentos ontológicos como la causación reflexiva.

En la siguiente sección vamos a explicar cómo, desde un enfoque que interpreta los niveles como ICD, no es posible justificar ontológicamente la causación reflexiva internivélica, tanto en sus modalidades ascendente (6.1) como descendente (6.2). Tampoco está justificada una distinción tajante e inde-

---

6 Cabe señalar que estos autores han ido matizando su posición en diferentes trabajos. Así, en Bich (2012), se defendía un marco epistemológico para hablar de la emergencia de las organizaciones biológicas. El tipo de emergencia observable en los sistemas vivos era denominado, en línea con las propuestas de Rosen (1978), “emergencia compleja” (complex emergence) y hacía referencia a “both the importance of how the system is organized in different layers—which instantiate distinct and complementary descriptive domains—and the role of the observer who needs to recur to different modalities of description in order to account for them” (Bich 2012: 228). Para Bich, una descripción de los niveles más bajos no es pertinente para dar cuenta de las propiedades de los niveles más altos, lo que implica una irreducibilidad epistemológica (Bich 2012: 230). Sin embargo, en Mossio, Bich y Moreno (2013) esta irreducibilidad ha sido reconsiderada ya no en términos epistemológicos, sino heurísticos. Mossio, Bich y Moreno entienden que solamente puede justificarse que las propiedades de un nivel sean epistemológicamente emergentes si es imposible que estas pudieran ser descritas en términos de las propiedades de sus componentes. Este no es el caso de la biología, pues no se han ofrecido razones para creer no es en principio posible dar un enfoque epistemológicamente reduccionista de la complejidad de los niveles superiores de los sistemas biológicos: “while arguments of ‘inaccessibility have already been formulated in physics (...), this is not the case of biology (Mossio, Bich y Moreno 2013: 175)”.

pendiente de los intereses del observador entre componentes de un sistema y las condiciones de entorno, descartando por tanto también la noción de causalidad no reflexiva (6.3). Todas estas consideraciones refuerzan la conclusión de que una caracterización de nivel como ICD conlleva un enfoque reduccionista del cierre de constricciones (6.4).

## **6. Ni causalidad internivélica ni emergencia. Intervalos de cuasi-descomponibilidad y cierre de constricciones**

### **6.1 Causación internivel reflexiva ascendente y relación de constitución entre propiedades de nivel**

Desde una interpretación de nivel como ICD no hay lugar para una interpretación ontológica de la noción de causalidad internivélica. Si nos fijamos en primer lugar en la causación ascendente, observamos que las distintas posturas emergentistas tienden a acotar entidades macro (M-entidades) desde un nivel de observación coincidente con ella y de arriba a abajo. Así, por ejemplo, cuando (McLaughlin y Bennett 2018) definen superveniencia no tienen problema en definir una M-entidad en función de sus componentes micro (m-entidades), afirmando "que no puede haber una diferencia A [macro] sin una diferencia B [micro]". Esto implica una elección de la M-entidad en función del nivel en el que se sitúa el observador, pero sin atender a un criterio de cuasi-descomponibilidad válido para todos los niveles, lo que condiciona sus elementos componentes, su participación en entidades de orden superior y sus propiedades, que serán las observables a ese nivel. La relación de micro-determinación de entidades es más fuerte que la realización y que la superveniencia, se trata de una relación de mera constitución. Las M-entidades no supervienen de las m-entidades, sino que están constituidas por las m-entidades.

Las M-propiedades son producto de la simplificación de las m-propiedades de sus componentes en función de las metas epistémicas que se presupongan a su estudio. Los intereses del observador determinan, al menos en parte, el criterio de cuasi-descomponibilidad que permite definir el nivel en el que se observan estas propiedades. Esto no significa que los intereses del observador sean el único factor que importa a la hora de identificar los criterios de cuasi descomponibilidad. Es evidente que la práctica científica debe ser probada para tener éxito, y sus herramientas conceptuales (como la noción de nivel) deben captar de algún modo los aspectos relevantes de los fenómenos a explicar. Sin embargo, estos intereses son decisivos porque están en la base de la propia práctica científica. Por ejemplo, cuando desde la enzimología se analiza el comportamiento de una determinada enzima, se estudian sus propiedades desde la perspectiva de la cinética enzimática. Así, se la caracteriza con un determinado valor de su constante de Menten-Michaelis ( $K_M$ ) que se asocia con una afinidad por su sustrato. Este valor de su afinidad es una M-propiedad elegida subjetivamente que se origina a partir de un conjunto de m-propiedades de los aminoácidos componentes de la enzima. Es más, se caracteriza una enzima promediada

de todas las enzimas individuales existentes en la muestra, para cada una de las cuales el concepto de constante carece de sentido. La  $K_M$  se define como la concentración de sustrato necesaria para que una enzima alcance la mitad de su velocidad máxima de reacción.

Pensemos en una enzima como si fuera el *green* de un campo de golf cuyo hoyo es el centro activo. Cuando una bola entra en un hoyo, se divide en dos y es expulsada, todo ello en un instante. Supongamos ahora que llueven bolas de golf. Si el número de bolas es muy bajo, muchos de los agujeros estarán sin ocupar, por lo que el rendimiento total será bajo, aunque cada agujero esté trabajando a 1 bola/segundo. Si aumentamos la cantidad de bolas, aumentará el rendimiento, pero habrá una cantidad a partir de la cual no podrá rendir más porque todos los hoyos están ocupados. Esa es la velocidad máxima y se dice que está saturado. La  $K_M$  es la cantidad de bolas necesarias para que el campo funcione a medio gas. Si los hoyos son grandes y las bolas pequeñas, la probabilidad de que caigan dentro es más alta y la  $K_M$  será mayor, si los hoyos son muy parecidos a las bolas, la probabilidad bajará y la  $K_M$  será más baja. Si el campo tiene irregularidades, los hoyos no son redondos y las bolas tienen que entrar de determinada forma, la  $K_M$  será mucho menor. Por lo tanto, la  $K_M$  es una variable de la sensibilidad mutua entre las enzimas y los sustratos, pero no de forma individual sino colectiva, por lo que, de igual forma que no tiene sentido hablar de la liquidez de una molécula de agua, no tiene sentido hablar de  $K_M$  para una sola enzima. Es una propiedad de nivel, una M-propiedad que se origina a un determinado nivel de observación como resultado de una simplificación de m-propiedades del nivel previo.

Pero las enzimas tienen muchas más propiedades, algunas descritas por los biólogos y otras ni siquiera analizadas. Sería como describir un león solo por su color. Esta subjetividad provoca la transformación de la identidad en sensación de superveniencia. De esta forma, conforme se ascienden niveles, las simplificaciones y promedios dan lugar a que se hagan agrupaciones de propiedades que parecen las mismas desde un nivel superior de observación, pero son diferentes desde el inferior, lo que origina otra característica de la superveniencia: la realizabilidad múltiple.

La clave está, por tanto, en la individualización de las M-propiedades, en su selección por parte del observador en función de su nivel. Al hacer esta selección, el resultado es consecuencia directa de la actuación del observador<sup>7</sup>. Por lo tanto, todo el conjunto de M-propiedades es la interpretación desde un ICD superior del conjunto de las m-propiedades de sus elementos componentes, si y solamente si, [1] las M-propiedades están presentes siempre que las m-propiedades estén presentes, y [2] las M-propiedades no pueden estar presentes cuando las m-propiedades no lo están. Cuando en el ICD superior

---

<sup>7</sup> Tampoco estamos defendiendo un antirrealismo con respecto a la noción de nivel. Los niveles como IND son reales, al menos si adoptamos una perspectiva realista pragmática que reconozca la importancia de los objetivos epistémicos en la determinación de las categorías ontológicas, como el "realismo multiperspectivo" de Wimsatt (1994) o el "enfoque pluralista-realista de la ontología" de Mitchell (2009).

se hace una selección de una de las M-propiedades o de un conjunto parcial de éstas, es posible que estas propiedades sean identificadas con otras similares cuyas m-propiedades pueden no ser las mismas. Por ejemplo, dos animales distintos pueden clasificarse según ciertas características elegidas previamente, pudiendo decirse de ellos, por ejemplo, que los dos pertenecen a la categoría “león”, aunque se trate de dos individuos distintos. Todas las M-propiedades del león A son la interpretación desde un nivel de observación de todas las m-propiedades de los elementos componentes de este león y, en ese nivel de observación, las M-propiedades del león A y del león B pueden ser idénticas, aún cuando tengan diferencias al nivel inferior de las m-propiedades.

De igual manera, se puede tratar la causalidad, entendida como líneas de mundo con un valor no nulo de una cantidad conservada y de la intersección de éstas formando redes de mundo (Salmon 1994). Estas redes constituyen un cono causal pasado y futuro (Cáceres y Saborido 2018, 142) en torno a un evento concreto del nivel fundamental. Estas líneas se difuminan y los nodos se engrosan conforme ascendemos niveles, de forma que las entidades-sistema de los M-niveles solo muestran M-causalidad, tan simplificada y basada en sus componentes como las propias entidades-sistema o sus propiedades, y, por los mismos motivos, no puede hablarse de poderes causales en los niveles superiores, sino como meramente aparentes. Por ejemplo, cuando observamos desde una perspectiva sencilla el reflejo rotuliano, simplemente decimos “al golpear la rodilla bajo la rótula, la pierna se estira involuntariamente”. La causa y la consecuencia son evidentes y claramente distinguibles. Si descendemos niveles, vemos que la línea de causalidad no es un trazo fino, y que donde parecía un solo nexo, hay varios. Fijémonos en el primer paso, el de la recepción del estímulo. La zona golpeada tiene multitud de receptores de frío, de calor, de dolor y mecánicos<sup>8</sup>. Todos ellos están conectados mediante determinadas fibras nerviosas con sus dianas. Transmiten el impulso con diferente velocidad según su grosor y mielinización y se clasifican en tipo Ia, Ib, II, III y IV. Según la combinación de receptores y fibras se transmiten las sensaciones de dolor punzante, calor, frío, cosquillas, presión, vibración, etc. Sus funciones motoras también son variadas: musculoesquelética, muscular y simpática. El trazo grueso de causalidad directamente elimina casi todo lo subyacente, como el calor o el frío, la vibración y las cosquillas y se centra solo en el resultado de los receptores de huso muscular con sus fibras Ia que son las responsables últimas del arranque del reflejo. Pero incluso esa línea más fina de la causalidad, es susceptible de ser vista de cerca y ver como se eliminan múltiples líneas (número de receptores y profundidad, número de fibras no afectadas, etc.). Podríamos incluso seguir bajando de nivel (polarización-despolarización de las membranas, canales de sodio, gradientes...) y ver que no solo cada línea de causalidad engrosada oculta múltiples líneas, sino que engloba varios nodos causales que son “resumidos” en función del nivel

---

8 Entre éstos últimos destacan las terminaciones nerviosas libres, terminaciones hederiformes, pelos táctiles, corpúsculos de Pacini, de Meissner, de Kranse, órganos terminales de Ruffini, aparatos tendinosos de Golgi y husos musculares.

del análisis. La causalidad verdadera estaría solo en el nivel fundamental (entendamos lo que entendamos por esto) y sería solamente aparente al ascender niveles.

## 6.2 Causación internivel reflexiva descendente y simplificación explicativa

Una vez analizada la micro-determinación, o la aparente causación descendente, desde este enfoque de niveles entendidos como ICD, podemos pasar a analizar la relación inversa, la macro-determinación. La causación descendente, es decir, la influencia causal entre un nivel superior y uno inferior, es uno de los cuatro pilares clásicos de la emergencia, considerado ya desde los emergentistas británicos, si no antes (Spaulding 1918, 450-51) y resulta clave para la emergencia, como señaló Kim al considerarla la *raison d'être* de la emergencia (Kim 2006, 548).

No obstante, la idea de causación descendente conlleva el problema de la interacción entre entidades de distinto nivel. Pensemos en una enzima que une un sustrato y lo divide en dos, como puede ser la lactasa que hidroliza el disacárido lactosa en los monosacáridos glucosa y galactosa. A pesar de que nos refiramos a la reacción en estos términos, el contacto entre los elementos intervinientes no es de esta forma. La lactasa no contacta con la lactosa, sino que son dos ácidos glutámicos, el Glu-1538 y el Glu-1749 (UniProt 2020) de los 1927, de la proteína los que contactan con la lactosa, el primero como donante de protones y el segundo como nucleófilo. Es más, es el oxígeno del hidroxilo ionizado del grupo carboxílico del Glu-1749 el que interacciona con el oxígeno del enlace  $\beta$  (1  $\rightarrow$  4) O-glucosídico de la glucosa y la galactosa. Más exactamente, lo que ocurre es un desplazamiento del par de electrones compartidos del oxígeno del enlace  $\beta$  por parte del par de electrones sin compartir<sup>9</sup> del citado oxígeno del Glu-1749. El resto de la enzima hace otras cosas: se ancla a la membrana celular del borde de cepillo de los enterocitos del endotelio intestinal (restos 1883-1901), forma un dominio topológico citoplasmático (restos 1902-1927) y el resto forma una estructura multidominio en la luz intestinal (Diekmann et al. 2017) que, además de la lactosa, hidroliza celobiosa, glicosil- $\beta$ -ceramidas y varios aril- $\beta$ -glucósidos, como la clorizina y los nitro-fenil- $\beta$ -glicosidos, pero en un centro activo diferente (Glu-1065 y Glu-1273) (UniProt 2020) aunque prácticamente idéntico (Zecca et al. 1998) Por tanto, es una cuestión de simplificación explicativa la que hace escalar niveles y hablar de contacto entre elementos de tamaño tan distinto<sup>10</sup>. La forma habitual de referirse a la relación entre estructura y función al hablar de las enzimas sería aquella que las vincula de arriba a abajo, es decir, afirmar que la parte depende del todo.

---

9 Los elementos que tienen un par de electrones sin compartir son susceptibles de producir ataques nucleófilos debido a su configuración electrónica, algo que se debe en última instancia a su número de protones y por tanto, al hecho de ser ese elemento y no otro.

10 Para hacerse una idea de la diferencia de tamaño entre los elementos intervinientes en la reacción, esto es el agua y lactosa respecto a la enzima lactasa baste decir que así como el agua pesa 18 g/mol y el azúcar 342,30 g/mol la enzima pesa 218.587 g/mol, es decir, 12.143 veces más pesada que el agua y 735 veces más que la lactosa.

La actividad de la lactasa<sup>11</sup>, esto es del Glu-1749, depende de la M-estructura de la enzima completa. Sin embargo, el problema vuelve a ser una excesiva simplificación explicativa que da lugar a un cruce de niveles. La M-estructura (la lactosa) es la m-estructura (secuencia de los 1926 aminoácidos), solo que descrita en distintos niveles. Consecuentemente, podemos hacer también un análisis de la enzima del ejemplo anterior a partir de una observación de algunos de sus posibles efectos a nivel de organismo. Desde la fisiopatología, se denomina intolerancia a la lactosa (IL) a un síndrome clínico caracterizado por la presencia de algunos de los siguientes síntomas: dolor abdominal, diarrea, náuseas, flatulencia y/o meteorismo, en relación a la ingesta de lactosa (Alliende et al. 2007: 152). En todos los mamíferos la lactasa es una enzima que se produce desde el nacimiento y durante la lactancia, disminuyendo tras el destete su producción al 10% de su máximo. Sin embargo, en algunos grupos humanos se produce una excepción al mantenerse durante el resto de su vida una alta producción de lactasa. Esto se debe a la selección darwinista llevada a cabo sobre el gen MCM6 que regula el fin de la expresión del gen de la lactasa, haciendo que se prolongue a lo largo de la vida su producción y por lo tanto la capacidad digestiva de la leche (Harvey et al. 1996, 135). No obstante, se estima que el 70% de la población mundial no sufre esta excepción y muestra intolerancia primaria a la lactosa<sup>12</sup>. Así, estas personas sin suficiente lactasa intestinal no digerirán correctamente la leche, de forma que la lactosa alcanzará el colon donde las bacterias colónicas la metabolizarán produciendo metano, hidrógeno y otros gases que dan lugar a la sintomatología descrita.

Esta descripción de la intolerancia primaria muestra un cruce de niveles que van desde la actividad propia de la enzima a nivel electrónico hasta el nivel de organismo de la persona que bebe la leche e incluso las poblaciones de intolerantes, desde una perspectiva causal. Esta puede ser ascendente, la alteración del gen regulador es la causa del síndrome, o descendente, el que persona con intolerancia beba leche produce gases intestinales. A nivel superior, tenemos en  $t_0$  una persona intolerante a la lactosa, en  $t_1$  una persona intolerante que bebe leche y en  $t_2$  una persona intolerante con una sintomatología. Conforme nos acercamos a este trazo grueso vemos que está formado por trazos más finos, a su vez formados por trazos más finos, en el que hay muchos nodos causales que ocultan más nodos causales. La persona entre  $t_0$  es un conjunto de moléculas determinado que sufre muchos cambios causales en una línea de tiempo  $t_0 \dots t_n$  antes de llegar a  $t_0$ . Al mirar asíncronamente los niveles, percibimos una falsa sensación de causalidad internivel, bien ascendente, bien descendente. Así, una persona al beber leche

---

11 Para simplificar, vamos a centrarnos aquí solamente en la actividad lactasa, esto es, la del par Glu-1538 y Glu-1749 dejando la actividad clorozinasa de los Glu-1065 y Glu 1273 al margen.

12 Existen más intolerancias a la lactosa, entre ellas una forma congénita (COLACD) en la que una mutación del gen de la lactasa conlleva la falta de la enzima y otra secundaria a ciertos problemas intestinales que provoca un daño de la mucosa intestinal que afecta secundariamente a la absorción.

(macro) provoca que sus bacterias intestinales produzcan metano (micro) lo cual le provoca a esta misma persona los incómodos síntomas de la intolerancia a la lactosa (macro nuevamente).

### 6.3. Causación internivel no reflexiva e individualidad

Por otro lado, cabe decir que, a pesar de que Mossio, Bich y Moreno la consideren “no controvertida” una interpretación de los niveles como ICD también conlleva rechazar la causación internivélica no reflexiva. No es posible hacer una justificación ontológica entre M-entidades y m-entidades basadas en la influencia del entorno, al no poder descomponer de forma absoluta la materia, tal y como hace (Kirchhoff 2014, 100) al referirse a la formación de células de Bénard, o en m-entidades imposibles de tener en cuenta como hace el mismo (Kirchhoff 2014, 103-4) al referirse al agua como un compendio imposible de determinar de átomos de hidrógeno o deuterio o de p-hidrógeno y o-hidrógeno<sup>13</sup>.

La causación no reflexiva, en la que un todo influye causalmente en las partes de otro todo adyacente, se basa en la asunción de que la distinción entre entidades distintas es evidente y aproblemática. Sin embargo, no parece que sea evidente que un nivel se pueda descomponer totalmente en entidades ontológicamente diferentes. Así, en el ejemplo clásico de las células de Bénard, desde la cuasi-descomponibilidad, no resulta posible distinguir completamente entre celdas adyacentes y, por lo tanto, no podemos afirmar que la forma macro de una de ellas influye en los componentes micro de la celda de al lado.

Del mismo modo que la distinción entre niveles depende en último término del criterio  $\epsilon$  asumido por el observador a partir de sus intereses investigativos, la distinción del continuo material entre distintas entidades también depende de los criterios en que se asuman y que dan lugar a una cuasi-descomposición entre diferentes sistemas cuyas relaciones causales serán también, consecuentemente, dependientes del observador. Esto no implica que las entidades o sistemas no sean reales (véase la nota la pie 7), ni siquiera que no haya formas más correctas o útiles de dar cuenta de las mismas, sino que únicamente pueden distinguirse diferentes entidades-sistema de límites difusos, lo que elimina la razón de base para la distinción entre las formas reflexiva y no reflexiva. Es más, esta imposibilidad de distinguir entre entidades abre una línea de investigación acerca de la individualidad que merece ser desarrollada en el futuro.

### 6.4. ¿Es el cierre de constricciones un régimen emergente de causalidad?

---

13 Existe un tipo de isomería basada en la orientación del espín de los electrones compartidos en un enlace covalente. Se denominan orto (o-) y para (p-) en función de si los espines de los electrones son, respectivamente, paralelos o antiparalelos. Esto da pie, por ejemplo, al p-hidrógeno y al o-hidrógeno, isómeros de espín de la molécula de H<sub>2</sub>, y al o-agua y p-agua, isómeros de espín de la molécula de H<sub>2</sub>O a lo que se debe referir Kirchhoff en su ejemplo.

Tras lo dicho, podemos reconsiderar ahora si es necesario entender el cierre de constricciones como un régimen emergente de causalidad, tal y como hacen Mossio, Bich y Moreno. Para Mossio, Bich y Moreno, el nivel del cierre organizacional es un nivel emergente no porque las propiedades de este nivel sean supervenientes de las de los niveles inferiores (estos autores niegan esta posibilidad), sino porque estas propiedades son irreducibles a las propiedades de niveles más básicos. Esta irreducibilidad es la razón que justifica, en su opinión, la consideración del nivel de cierre de constricciones como ontológica y epistemológicamente emergente<sup>14</sup>. Sin embargo, esta justificación de la emergencia no se basa realmente en cuestiones ontológicas. Es posible argumentar que, una vez descartadas las razones ontológicas para la causación internivel, tampoco está fundamentada la irreducibilidad de un régimen de causalidad más que desde un punto de vista meramente epistemológico o heurístico.

Si la relación entre niveles es de constitución, entonces los niveles inferiores y superiores están en último término constituidos por las mismas entidades y solamente son descritos de forma distinta por cuestiones dependientes de los intereses epistémicos del investigador. Todas las propiedades configuracionales que se observan en el nivel superior también están presentes en los niveles más básicos. Es decir, el cierre organizacional de constricciones se da también a todos los niveles, incluido el más fundamental. La razón por la que se defiende que las propiedades del cierre de constricciones no son reducibles a las de las propiedades de entidades observables a niveles más bajos y que es por lo tanto necesario “introducir nuevos objetos, relaciones y poderes causales” (Mossio, Bich y Moreno 2013: 164) no son ontológicas y ni tan siquiera epistemológicas, por las mismas razones que la asunción de causación internivélica no tiene fundamentación ontológica ni epistemológica.

La partición de la realidad en un nivel ICD que distingue un conjunto determinado de partes, propiedades y condiciones de entorno relevantes es una decisión dependiente del observador que se hace en relación a un criterio de cuasi-descomponibilidad elegido por razones heurísticas. En el caso de la biología, esta razón heurística puede ser identificar relaciones configuracionales relevantes entre los elementos de un sistema, las cuales pueden ser observadas mejor desde cierto nivel. Este es el caso del cierre de constricciones. Las relaciones de causalidad entre las constricciones no emergen en un determinado nivel de observación sino que están determinadas por las propiedades de los elementos que configuran el sistema y que, en principio, serían describibles también en los niveles más fundamentales. La idea de organización funciona como un principio explicativo, es decir, como una guía heurística que permite ofrecer un criterio de cuasi-descomponibilidad tanto entre niveles de un mismo sistema como entre un sistema y su entorno. No hay un régimen emergente de causalidad en el cierre de constricciones en un sentido ontológico ni epistemológico, pues los elementos que constituyen el cierre son

---

14 Para una argumentación detallada de esta diferencia entre superveniencia e irreducibilidad, véase (Mossio, Bich y Moreno 2013: 7-11).

los mismos que constituirían otros niveles más básicos que fueran elegidos en relación a diferentes ICD. Mossio, Bich y Moreno nos dicen que “*all chemical bonds are configurations emergent on their parts, substrate and surroundings, since they realize new relations, and therefore possess distinctive configurational properties*” (Mossio, Bich & Moreno 2013: 11). Sin embargo, tal y como muestra la caracterización de nivel como ICD, los enlaces químicos son describibles a todos los niveles. Todas las propiedades de los elementos de un nivel están presentes también en niveles más fundamentales, incluidas las propiedades configuracionales. Y lo mismo ocurre con las “condiciones de entorno relevantes”. La partición de la realidad que permite distinguir los componentes de un sistema organizacionalmente cerrado de los componentes de otro distinto (las “condiciones de entorno”) es también una decisión dependiente del observador, el cual elige el criterio para diferenciar ICD, y con ello entidades individuales, por razones heurísticas.

## 7. Conclusiones

En un mundo cuasi-descomponible, en el que la relación entre M-entidades y m-entidades es de constitución, las propiedades aparentemente emergentes son en realidad propiedades de nivel derivadas de una elección tomada por razones heurísticas para contribuir a la investigación del continuo material. Los niveles no serían sino el resultado de la simplificación anidada de las propiedades de los componentes de un sistema que se desea investigar. Las líneas de causalidad se difuminan conforme ascendemos niveles siendo siempre reducibles a las del nivel fundamental, por lo que las M-entidades, como entidades-sistema, no tienen poderes causales propios, sino que son efectos derivados de las propiedades de sus componentes. Las relaciones de causalidad se dan exclusivamente en un mismo nivel. La causación descendente y la ascendente no son sino el resultado de un análisis cruzado y asíncrono de los niveles. El único tipo de relación que se da entre niveles es de constitución e identidad. Además, la distinción entre una causación reflexiva y una no reflexiva queda anulada ante la imposibilidad de establecer distinciones ontológicamente tajantes (totalmente descomponibles) entre entidades.

Aplicado al cierre de constricciones, llegamos a las siguientes conclusiones: es posible explicar las constricciones como entidades-sistema asociadas a un determinado nivel de observación con unas propiedades de nivel resultantes de las de sus componentes debido a la simplificación llevada a cabo en el re-escalado de niveles. Además, no es posible tampoco justificar la causación internivel no reflexiva pues no es posible establecer un criterio objetivo indiscutible para descomponer el continuo material y, por consiguiente, la distinción entre entidades distintas es siempre algo que depende de los intereses del observador. Esto no implica solo renunciar a la causación internivélica reflexiva (como ya habían defendido Mossio, Bich y Moreno) y no reflexiva, sino también rechazar toda interpretación emergentista ontológica del cierre de constricciones. Al contrario de lo que defienden Mossio, Bich y Moreno,

es posible ofrecer un enfoque reduccionista del cierre organizacional que entienda que las propiedades relacionales observables en el nivel de las constricciones están ya presentes en todos los niveles más básicos, pues la relación entre estos niveles es de identidad. Esto no implica tener que adoptar un enfoque eliminativista que renuncie a la pertinencia de distinguir niveles en biología.

La descripción de un ICD, especialmente de aquellos en los que pueden observarse comportamientos tan centrales como el auto-mantenimiento biológico, se corresponde con la elección de un intervalo de cuasi-descomponibilidad que se adopta por razones heurísticas y es una estrategia científica con una utilidad indiscutible para comprender e intervenir en los seres biológicos y sus organizaciones. El cierre organizacional sería, por lo tanto, resultado de una descripción de un tipo concreto de mecanosistema, que es ontológica y epistemológicamente reducible a sus componentes, pero con una valiosa capacidad explicativa, lo que conlleva implicaciones muy notables para la caracterización de conceptos clave como la individualidad y la causación.

## **Bibliografía**

- Anderson, Carl. 2002. «Self-organization in relation to several similar concepts: Are the boundaries to self-organization indistinct?» *The Biological Bulletin* 202, no. 3: 247–255.21
- Arnellos, A., Moreno, A. 2017. How functional differentiation originated in prebiotic evolution. *Ludus Vitalis*, 37, 1–23. Arnellos, A., Moreno, A., Ruiz-Mirazo, K. 2014. Organizational requirements for multicellular autonomy: Insights from a comparative case study. *Biology and Philosophy*, 29(6), 851–884.
- Bich, Leonardo. 2012. «Complex emergence and the living organization: an epistemological framework for biology». *Synthese* 185, no. 2: 215–232.
- Diekmann, Lena, Marc Behrendt, Mahdi Amiri, and Hassan Y Naim. 2017. «Structural determinants for transport of lactase phlorizin-hydrolase in the early secretory pathway as a multi-domain membrane glycoprotein». *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* 1861, no. 1: 3119–3128.
- Glennan, Stuart. 1996. «Mechanisms and the Nature of Causation». *Erkenntnis* 44: 49-71.
- Harvey, Clare B, Yangxi Wang, Dalila Darmoul, Alan Phillips, Ned Mantei, and Dallas M Swallow. 1996. «Characterisation of a human homologue of a yeast cell division cycle gene, MCM6, located adjacent to the 5' end of the lactase gene on chromosome 2q21». *FEBS letters* 398, no. 2-3: 135–140.
- Kim, Jaegwon. 2006. «Emergence: Core ideas and issues». *Synthese* 151: 547–559.
- Kirchhoff, Michael. 2014. «In search of ontological emergence: diachronic, but nonsupervenient». *Axiomathes* 24, no. 1: 89–116.
- Klee, Robert. 1984. «Micro-Determinism and Concepts of Emergence». *Philosophy of Science* 51: 44-63.
- Machamer, Peter, Lindley Darden, and Carl F. Craver. 2000. «Thinking About Mechanisms». *Philosophy of Science* 67, no. 1: 1-25.
- Mclaughlin, Brian, and Karen Bennett. 2018. «Supervenience». *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring Edition), Edward N. Zalta (ed.) <https://plato.stanford.edu/archives/win2018/entries/supervenience>.
- Mill, John Stuart. 1843. *A system of logic: ratiocinative and inductive*. [8th, 1872]. London: Longmans, Green, Reader, and Dyer.
- Mitchell, Sandra. 2009. *Unsimple truths: science, complexity, and policy*. University of Chicago Press, Chicago.
- Montévil, Maël, and Matteo Mossio. 2015. «Biological organisation as closure of constraints». *Journal of theoretical biology* 372: 179–191.
- Moreno, Alvaro, and Matteo Mossio. 2015. *Biological autonomy. A Philosophical and Theoretical Enquiry*. Springer.
- Moreno Álvaro, and Javier Suárez. 2020. Plurality of Explanatory Strategies in Biology: Mechanisms and Networks. In: Gonzalez W.J. (eds) *Methodological Prospects for Scientific Research* (pp. 141–165). *Synthese Library* (Studies in Epistemology, Logic, Methodology, and Philosophy of Science), vol 430. Springer, Cham.

Mossio, Matteo, and Leonardo Bich. 2017. «What makes biological organisation teleological?» *Synthese* 194, no. 4: 1089–1114.

Mossio, Matteo, Leonardo Bich, and Álvaro Moreno. 2013. «Emergence, closure and inter-level causation in biological systems». *Erkenntnis* 78: 153-78.

Mossio, Matteo, and Alvaro Moreno. 2010. «Organisational closure in biological organisms». *History and philosophy of the life sciences*, 269–288.

Nagel, E. (1949), “The meaning of reduction in the natural sciences”, in R.C. Stauffer (ed.), *Science and civilization*, Madison: University of Wisconsin Press, 99–138.

Pattee, Howard H. 1972. «Laws and constraints, symbols and languages». In *Towards a Theoretical Biology*, edited by C.H. Waddington, 4:248-58. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Prigogine, Ilya. 1978. «Time, structure, and fluctuations». *Science* 201, no. 4358: 777–785.

Rosen, Robert. 1978. *Fundamentals of Measurement and Representation of Natural Systems*. New York, North-Holland.

Rosenberg, Alex. 2007. *Reductionism in Biology*. In Dov M. Gabbay, Paul Thagard, y John Wood *Philosophy of Biology*, pp 349-68. Amsterdam: Elsevier.

Salmon, Wesley C. 1994. «Causality without counterfactuals». *Philosophy of Science*, 297–312.

Simon, Herbert A. 1962. «The Architecture of Complexity». *Proceedings of the American Philosophical Society* 106, no. 6: 467-82.

Spaulding, Edward G. 1912. *The New Realism: Cooperative Studies in Philosophy*. New York: The Macmillan Company.

———. 1918. *The New Rationalism: The Development of a Constructive Realism Upon the Basis of Modern Logic and Science Through the Criticism of Opposed Philosophical Systems*. New York.

UniProt. 2020. «P09848 (LPH\_HUMAN)». UniProt. 2020. <https://www.uniprot.org/uniprot/P09848>.

Van de Vijver, Gertrudis, and Jerry LR Chandler. 2000. *Closure: Emergent Organizations and their Dynamics*. New York Academy of Sciences.

Varela, Francisco. 1979. *Principles of biological autonomy*. New York: North Holland.

Varela, Francisco J, and Paul Bourguine. 1992. *Toward a practice of autonomous systems: Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*. MIT press.

Wimsatt, William. 1994. *The ontology of complex systems: levels of organization, perspectives and causal thickets*. *Canadian Journal of Philosophy* 20: 207-274.

Zecca, Laura, José E Mesonero, Alfred Stutz, Jean-Claude Poirée, Jean Giudicelli, Raffaele Cursio, Sergio M Gloor, and Giorgio Semenza. 1998. «Intestinal lactase-phlorizin hydrolase (LPH): the two catalytic sites; the role of the pancreas in pro-LPH maturation». *FEBS letters* 435, no. 2-3: 225–228.

Cierre organizacional, intervalos de cuasi-descomponibilidad y causación internivélica.