



UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A
DISTANCIA

FACULTAD DE FILOSOFÍA

Máster Universitario en Filosofía Teórica y Práctica
Especialidad de Lógica y Filosofía de la Ciencia

Trabajo Fin de Máster

PROPIEDADES EMERGENTES EN BIOLOGÍA

Autor: Emilio Cáceres Vázquez

Tutor: Cristian Saborido

Madrid, Junio 2014

RESUMEN

Este trabajo pretende ser un análisis sobre la naturaleza de las propiedades en las estructuras biológicas, más concretamente sobre si éstas pueden deducirse desde las propiedades de sus componentes y las relaciones entre ellas, o si esta reducción no es posible y hay algo en la organización que aporta un plus inexistente en su composición. En análisis lo he realizado en torno a una serie de características o *marcas* definitorias de emergencia, apuntando las razones de reduccionistas y emergentistas a favor y en contra de ellas.

Mi aportación pretende ir más allá del análisis proponiendo una razón a favor del reduccionismo que considera un enfoque diacrónico de las relaciones entre los componentes que puede eliminar la mayor dificultad encontrada por este punto de vista, la causación descendente.

ABSTRACT

This research aims to discuss the nature of the properties in biological structures, specifically if they can be deduced by themselves from the properties of its components and the relationships between them, or whether this reduction is not possible and there is something in the organization that provides a nonexistent plus in composition. In analysis I carried around a set of characteristics or defining marks of emergency, pointing the reductionist and emergentists reasons for and against them.

My contribution aims to go beyond the analysis by proposing a reason in favor of reductionism that a diachronic approach considers the relationships between components that can eliminate the major difficulty encountered by this point of view, the downward causation

Índice

1. [Introducción](#)
2. [Perspectiva](#)
3. [Emergencia](#)
4. [Sistemas](#)
5. [Tipos](#)
6. [Conclusión](#)

Introducción

El intento de explicar la vida desde una perspectiva científica ha hecho que su estudio se base en el análisis de sus componentes y en la derivación de sus propiedades a partir de estos. Este reduccionismo científico se vio reforzado de forma especial a lo largo del siglo XX, destacando el hito del descubrimiento de la estructura molecular del ADN, algo que combinado con la teoría sintética de la evolución y la genética parecía desentrañar completamente la vida. Las motivaciones últimas de todas las funciones vitales eran pues reducibles a las propiedades físico-químicas de sus componentes últimos, y el mecanicismo cartesiano alcanzaba su máxima expresión.

Sin embargo, el espectacular avance de estos descubrimientos se fue suavizando y empezaba a tropezar con un elevado nivel de complejidad. La curva de avance pasaba de un lento inicio a una explosión exponencial y de ahí a una aproximación asintótica a un límite, curiosamente la misma forma sigmoidea que tienen muchas modelizaciones matemáticas de funciones biológicas. Esta cercanía al límite ha sido considerada desde cierto enfoque como una muestra del fracaso de este modelo por lo que se aboga por una vuelta a ciertas perspectivas más amplias que ponen más el foco en la totalidad que en las partes. El tildado de *fracasado* proyecto genoma humano se ha considerado la materialización de este límite que debe marcar un cambio en el paradigma metodológico de la ciencia.

Uno de los aspectos en disputa es la naturaleza de las propiedades de la materia viva. Desde la perspectiva reduccionista, cualquier propiedad estudiada tiene su base en los elementos que la forman y en las relaciones que estos mantienen, las cuales dependen en última instancia de ellos. El grado de complejidad que presente, o de su inclusión entre lo considerado vivo o lo inerte son consideraciones secundarias. Las propiedades de un nivel superior se deben, en última instancia, a las de sus componentes primeros, sean estos los que sean. En los niveles más básicos de organización, este tipo de explicación no supone un problema especial. Explicar una propiedad de los átomos en base a sus componentes subatómicos resulta sencillo de hacer, y de asumir, pero hacer lo propio con el pensamiento o la cultura resulta, cuando menos, delicado. Desde el otro

enfoque, la explicación basada en las partes es insuficiente y abogan por una suerte de sinergia que hace emerger propiedades, no solo inexistentes en los niveles inferiores, sino no deducibles desde ellos. Ahora no son los componentes, sino la totalidad la que explica la aparición de estas propiedades y es la autoorganización la responsable de su emergencia.

Estos planteamientos, reduccionismo y emergentismo, tienen consecuencias en el modo de contemplar las relaciones entre los distintos niveles de complejidad. El reduccionismo implica un cierto determinismo genético y distingue lo vivo de lo inerte en base a la existencia de material heredable, por lo que es completamente compatible con la teoría de la evolución por selección natural. El emergentismo da prioridad a la autoorganización y distingue lo vivo de lo inerte en función del grado de complejidad de la autoorganización. Este enfoque no queda completamente satisfecho con la evolución darwinista por lo que aboga por sistemas de evolución que resten protagonismo a los genes dando prioridad a lo organizativo, encontrando en la denominada *evo-devo*, evolución y desarrollo, la solución a su planteamiento.

El objetivo de este trabajo es analizar los diferentes aspectos de ambos enfoques e intentar demostrar que la postura reduccionista explica o tiene la potencialidad de explicar, todos los aspectos conocidos y que, además, puede integrar aquellas características en las que el emergentismo asegura que la reducción fracasa.

Perspectiva

Emilio y Víctor se reúnen como todos los miércoles tras salir del trabajo para tomar un café y charlar un rato sobre los acontecimientos de la semana. Con el regusto del café en la boca, Víctor comenta a Emilio un artículo recién leído.

VÍCTOR.- Acabo de leer un artículo¹ en la revista *Neurología* de este mes sobre los circuitos neuronales de la moral que me ha resultado muy interesante. En él, su autor explica como los comportamientos morales se localizan en estructuras cerebrales como la corteza prefrontal, la corteza cingular anterior o el sistema frontoparietal, donde se sitúan las neuronas espejo, responsables de la empatía. Aunque no profundiza en los elementos químicos de la transmisión del impulso nervioso, 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. Sin embargo, en mi opinión, debe haber algo en la organización que aporte nuevas propiedades a lo complejamente estructurado, y ese *plus* debe estar en la complejidad. El comportamiento moral no puede explicarse solamente en cuanto a sus componentes materiales últimos. La propia organización y su interacción con el entorno hacen emerger ciertas propiedades impredecibles y cualitativamente diferentes.

EMILIO.- Bien, veo que vamos a tener una agradable conversación, porque yo soy de la opinión de que esa sinergia de la que hablas, ese *algo más que la suma de las partes*, es deducible completamente de las propiedades de sus componentes. De entrada tenemos que fijar unas premisas acerca de esta discusión, y creo que no será difícil ponernos de acuerdo en ciertos puntos de partida. La disputa va a basarse en lo que podemos denominar como materialismo, es decir, estamos de acuerdo que en última instancia hablamos de partículas materiales y de las relaciones naturales que puedan darse entre

1 [ÁLVARO-GONZÁLEZ 2014]

ellas. Por lo tanto no vamos a considerar nada sobrenatural, bien sea una divinidad al uso, bien sea un *elan vital* con un origen indeterminado.

VÍCTOR.- Si, en eso estamos de acuerdo, lo sobrenatural lo podemos dejar para otra ocasión. Pero me tienes que conceder que ésta es una asunción metafísica y como tal está abierta a discusión.

EMILIO.- De acuerdo. Tememos entonces que toda la materia existente sobre la Tierra² está formada por tres tipos de partículas subatómicas, a saber, protones, neutrones y electrones³, 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 fuerza⁴ existentes en el universo: la fuerza nuclear fuerte, que mantiene unidos a los protones con los neutrones y a los protones entre a pesar de su repulsión eléctrica; la fuerza nuclear débil, relacionada con los *quarks* y tan pequeña comparada con la anterior que podemos desconsiderarla; la fuerza electromagnética, que mantiene a los electrones alrededor del núcleo atómico; y 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 de manera que forman superestructuras, que a su vez forman súper-superestructuras que a su vez... 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 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.

2 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.

3 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.

4 [ATKINS 2003] , capítulo 5

VÍCTOR.- Cierto. Y no olvides que algunos de esos elementos no se unen en moléculas discretas, sino en continuos monoatómicos, fuertemente organizados, formando lo que llamamos metales puros.

EMILIO.- Efectivamente, Víctor. Piensa ahora en un observador que estudie un nivel cualquiera de esta sucesión. Desde su óptica, verá que su nivel tiene varios escalones inferiores y varios superiores, sin que haya ninguna diferencia entre ellos más que la aportada por el propio observador. Si éste tuviera el tamaño de un protón, apenas distinguiría estructuras por debajo de él, y las superiores serían tan grandes que no las percibiría. Baste con saber que la distancia entre los protones de una molécula de hidrógeno 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. 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 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 a cada partícula subatómica de forma individual, bien a la Gaia lovelockiana⁵.

Por lo tanto, las partículas elementales (sean éstas las que sean), son lo único existente pues su agrupación en estructuras superiores depende de su nivel energético en cada

5 [LOVELOCK 1993]

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 los elementos tengan estabilidad.

VÍCTOR.- De hecho, los planetas son como son porque el nivel energético del que hablas permite que existan de forma sólida.

EMILIO.- Cierto, además, la asociación de partículas elementales no dan lugar a combinaciones aleatorias, sino que en función de determinados parámetros, adquieren una configuración u otra. La física cuántica explica cuales son las combinaciones permitidas, explicando en función del número de protones, cuantos electrones puede contener ese átomo y como se distribuyen. Así, sabemos que 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 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 elementos 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 no pueden compartir orbital, lo que reduce a dos la ocupación de estas regiones. Fíjate, 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*»⁶. Otra ley básica, la de la tendencia a 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

6 [ATKINS 2003], p 178

que le faltan para alcanzar el menor nivel energético posible y así su 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 el 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 impediría un mayor acercamiento. 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 hidrógeno⁷.

VÍCTOR.- Vamos, agua.

EMILIO.- No, agua no. El agua es una sustancia líquida, incolora, inodora e insípida con unas propiedades ópticas determinadas, otras químicas, otras físicas, etc. Esta molécula *única*, ni es líquida, ni insípida, ni presenta ningún valor de índice de refracción. Esas propiedades no tienen sentido para una sola molécula. Me explico.

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 la forma de su distribución electrónica. El oxígeno, que en estado atómico tenía seis electrones en su última capa, ahora tiene 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, es decir, uniformemente repartida en el espacio, de

7 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.

manera que los nuevos orbitales moleculares⁸ quedan distribuidos en áreas de 120°. Pero no los cuatro pares de electrones son iguales. 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.⁹ Pero además de esto tiene otra consecuencia. Los dos pares de electrones son susceptibles de producir enlaces covalentes coordinados¹⁰, 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.

VÍCTOR.- Lo de *forma de la molécula* es una forma de hablar, ¿verdad? Las moléculas no tienen forma porque como tú mismo has comentado hace un momento, las distancias entre los núcleos y los electrones son tan grandes que se percibiría solo como espacio hueco. Y lo mismo te puedo decir de la *necesidad* de los átomos por captar electrones.

EMILIO.- Efectivamente, Víctor, son formas de expresar la tendencia natural o el cumplimiento de las leyes naturales. Por más que lo intente me es imposible evitar el punto de vista humano, algo que por otra parte es evidente. Con tu permiso, voy a seguir hablando de esa forma, de manera que puedes tomar esas expresiones como si las escribiera 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.¹¹ A todo esto hay que añadir la irregular

8 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

9 El verdadero ángulo entre los dos hidrógenos es de 104,5°. [LEHNINGER 1985], p 42

10 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.

11 [CORZO 2005] momento dipolar

distribución de los electrones compartidos que dan lugar a dipolos instantáneos y variables que determinan las fuerzas de dispersión de London¹² 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 (H_3O^+) y un ion hidróxido (OH^-).¹³ 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 negativamente y uno de los hidrógenos pseudocargado positivamente. La atracción, denominada enlace de puente de hidrógeno¹⁴, es más débil que los enlaces por compartición de electrones intramoleculares, pero lo suficientemente fuerte como para mantenerse en determinadas condiciones, 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 qué 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 uno concreto y no otro, 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

12 [CORZO 2005], fuerzas de dispersión.

13 [LEHNINGER 1985], p 47

14 *Ibid*, p 42

las moléculas va cambiando conforme sus electrones se mueven pudiendo, en función de la energía que tengan que vencer, deshacer la ionización, romper el enlace de hidrógeno o todo lo contrario.

VÍCTOR.- Te entiendo perfectamente, y comparto tu punto de vista. Además, como esos diferentes estados son equiprobables, podremos establecer un promedio que nos sirva para predecir comportamientos.

EMILIO.- Efectivamente, pero no olvides que eso introduce un error. Demos ahora un salto cuantitativo, y consideremos una cantidad superior a 10.000 de nuestras moléculas¹⁵. 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 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. Pero ahora, nuestro observador es del tamaño del total de las moléculas, y su capacidad de observación le incapacita para distinguir su individualidad, de la misma manera que no detecta los puentes de hidrógeno, ni la 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 otras¹⁶ 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...

15 [PARK 2013] 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 una estimación pero resulta evidente que debe tratarse de un número determinado de moléculas para unas condiciones determinadas.

16 [LEHNINGER 1985], p 43

VÍCTOR.- Te sigo, te sigo. Como no se pueden contar, el observador introduce una magnitud a la que denomina pH y que no es sino una valoración promedio de la cantidad de iones hidronio presentes. Así tenemos, según lo explicado, que la propiedad de ser líquido, la de tener cierta 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. Es decir, lo que algunos denominan *propiedades emergentes*. Pero una cosa es determinarlo a nivel inorgánico, y otra muy diferente cuando hablamos de materia viva. Además, ¿qué me dices de otras propiedades del agua como su capacidad refrescante? Proceden también de su configuración electrónica o tiene ese *algo* que hace que el todo sea más que las partes?

EMILIO.- La cuestión que planteas tiene muchas aristas, por lo que vamos a tratarlas de una en una. De entrada, hasta ahora hemos hablado de un conjunto más o menos grande de moléculas exclusivamente de H₂O. Sin embargo, en la naturaleza no existe este fluido teórico. La sola exposición al aire ambiental y al suelo van a hacer que se produzca la disolución de gran cantidad de otras moléculas en su seno dando lugar a lo que, desde una óptica macroscópica, denominamos agua. 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 y calcio, se disuelven desde el suelo¹⁷. 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 de agua existen $6,022 \cdot 10^{23}$ moléculas de agua y que esta cifra ¡asume una incertidumbre de orden 15!¹⁸

VÍCTOR.- Veo por donde vas. 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

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

18 La constante de Avogadro tiene un valor de $6,022\ 141\ 29(27) \times 10^{23}$ mol⁻¹, siendo el valor entre paréntesis la incertidumbre aceptada en el cálculo. http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?na|search_for=Avogadro

modificando la cantidad libre de ellos. Además, pueden interaccionar entre ellos manteniéndose en disolución o formando sólidos insolubles, antes inexistentes. Todas estas reacciones dan lugar a una disolución que tendrá unas características microscópicas y macroscópicas dependientes de las propiedades de sus componentes. Como no puedo hablar de moléculas individuales acuñamos formas macroscópicas de referirnos a ellas. Concentraciones, gradientes, pH, etc.

EMILIO.- Exacto, pero además, esta disolución tiene una dinámica. Es decir, 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 cambie nada, se mantiene cierta cantidad de cada una de ellas pero en continuo cambio. Hablo pues de equilibrios entre concentraciones e introducimos para comprenderlo un nuevo concepto, la constante de equilibrio, que nos indica la proporción de cada componente en base a velocidades de transformación en una y otra dirección. Piensa ahora en la cantidad de incertidumbres que hemos acumulado desde que formamos el átomo.

VÍCTOR.- A ver, déjame pensar. La posición de los electrones en los orbitales, la distintas *opciones* de la molécula de agua una vez formada, el paso de considerar moléculas a concentraciones, la asunción de los equilibrios y de sus constantes. Y aunque lo has dejado en el aire, 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.

EMILIO.- Añadamos 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. Fíjate que magnitud tan indirecta, el calor específico, definido como la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de una masa de agua, es decir, calor promedio, para energía cinética promedio para una cantidad de moléculas promedio. Mucha incertidumbre, pero una relación de causalidad evidente.

VÍCTOR.- ¿Y que me dices de la aleatoriedad que introduce la mecánica cuántica, esa es

también solo incertidumbre o verdadera acausalidad?

EMILIO.- Ahí te tengo que reconocer que hay dos interpretaciones que simplificando mucho son aquella que dice que 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 Copenhague¹⁹, o aquella otra que habla de la *decoherencia* entre estados cuánticos y que aboga por un determinismo entre ellos en base a interferencias causales del entorno²⁰. En cualquier caso, esa aleatoriedad quedaría situada *antes* de la formación de los átomos, por lo que lo analizado hasta ahora valdría igualmente. Luego, cuando lleguemos a los distintos tipos de emergencia, seguro que volvemos sobre este tema.

Ahora quiero introducir un aspecto que has comentado hace un momento. Me refiero a la referencia a la *refrescosidad* del agua. Hasta ahora, hemos hablado de 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 energía, como la tensión superficial, la temperatura o el pH, bien de una mezcla de moléculas, como la capacidad de disolución. Pero esta propiedad a la que te refieres, la de resultar refrescante, no solo depende de una mezcla de sustancias, pues es la concentración de CO₂ y de otras sales la responsable de que el agua resulte fresco y no el propio H₂O, sino que depende de su interacción con ciertos receptores sensoriales humanos y con la conversión en sensación dentro de nuestro sistema nervioso central. Si intentáramos que una máquina nos dijera que 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.

VÍCTOR.- Entonces según tu opinión, las propiedades que aparecen al aumentar la complejidad son completamente dependientes de sus elementos componentes y

19 [ATKINS 2003], p 263

20 *Ibid*, p 269

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

EMILIO.- Sí, pero con matices. De entrada, 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, no digo que no dependan de la organización, y por lo tanto de las relaciones entre los componentes, sino que las relaciones son unas u otras según las propiedades de los elementos que se relacionan, y por tanto, en última instancia, son reducibles a ellas.

VÍCTOR.- Hombre, es que en el caso del agua, es decir, de una sustancia compuesta por una única molécula formada a su vez por solo tres átomos, y con un nivel de organización basada en la agregación, apenas hay niveles de organización, si es que se los puede llamar así. En este caso podría estar de acuerdo contigo, pero, ¿qué me dices cuando la complejidad es mayor, como es el caso de la materia viva? ¿No piensas que en las situaciones en las que se dan niveles de organización jerárquicos emergen verdaderamente propiedades que no descansan solo en sus componentes? Piensa en la vida como propiedad emergente, ¿crees que la vida puede deducirse de la no vida?

EMILIO.- Estoy de acuerdo contigo en que he empezado haciendo un poco de trampa, el agua es una sustancia demasiado sencilla como para basar todo el análisis de las propiedades emergentes en su composición. Pero no lo he hecho para tratar de confundirte, sino para mostrar, antes de considerar mayores niveles de complejidad, que incluso en un caso tan sencillo como éste, se abre un grado de incertidumbre suficiente como para hablar de márgenes de confianza y asumir limitaciones. No obstante, ahora tendremos que entrar en verdaderas complejidades. Te propongo lo siguiente: veamos primero que se considera como propiedad emergente, pues su propio nombre puede inducir a engaño. Digo esto porque, para que algo emerja, debe estar debajo, sin embargo esa no es su acepción más utilizada. Después ya pasaremos a analizar estructuras más complejas, como las que forman parte de la materia viva.

Emergencia

EMILIO.- Creo que antes de seguir con la discusión deberíamos intentar aclarar lo que cada uno de nosotros entendemos por *emergencia* y pactar un significado común para ambos. Pero no pienses que somos los únicos que no tenemos un concepto unificado de emergencia, Mario Bunge²¹, Clauss Emmeche²², Robert Klee²³, William Wimsatt²⁴, Timothy O'Connor²⁵, Richard Campbell y Mark Bickhard²⁶ o Michael Silberstein y John McGeever²⁷, entre otros han tratado el tema sin que hayan llegado a un único concepto de emergencia. No obstante, sí han hecho un repaso de las distintas características de las diferentes concepciones utilizadas dando lugar a una especie de clasificación de los tipos de emergencia más utilizados.

VÍCTOR.- En cualquier caso, me imagino que la clave de la idea de emergencia estriba en su origen histórico y en su evolución a lo largo del tiempo. Basta con conocer el desarrollo del conocimiento a lo largo de los últimos siglos para ver como el mecanicismo cartesiano ha ido logrando hitos, no solo en los aspectos físicos, sino en los biológicos. La formulación por parte de Jakob Schleiden y Theodor Schwann de la teoría celular en 1839 supuso un enorme paso en la reducción de la vida. Todos los seres vivos estaban formados por unas unidades anatómicas y funcionales que contenían vida en sí mismas. Por lo tanto, la macro-vida podría explicarse desde la micro-vida. La anatomía y la fisiología explicaban como el organismo, la macro-vida, estaba constituido aparatos y sistemas que se descomponían en órganos, estos en tejidos y estos en células, la micro-vida. Ernst Mayr explica cómo este éxito del análisis desemboca en la declaración de Berlín, donde Brücke, DuBois Reymond y Helmholtz aseguran que *«en el mundo orgánico no hay otras fuerzas en actividad que las fisicoquímicas conocidas»*²⁸ y como, en su opinión, los logros de este método de investigación llevan a confundir análisis con reducción.

21 [BUNGE 2004]

22 [EMMECHE, KÖPPE y STJERNFELT 1997]

23 [KLEE 1984]

24 [WIMSATT 2000]

25 [O'CONNOR 1994]

26 [CAMPBELL y BICKHARD 2011]

27 [SILBERSTEIN y MCGEEVER 1999]

28 [MAYR 2006], p 94

EMILIO.- Efectivamente, Víctor, pero no olvides que esta situación, surge en un entorno en el que la ciencia estaba impregnada de vitalismo y en esa situación todo aquel que no era vitalista y basaba su metodología de investigación en el análisis, era al menos en parte, reduccionista²⁹. Este primer vitalismo se caracterizaba por una equiparación entre el alma inmortal (*soul*) y la cualidad vital (*spirits*), los fenómenos vitales eran manifestaciones directas del alma y por lo tanto no podían explicarse desde la ciencia³⁰. Su propia naturaleza divina la autoexplicaba y la dirigía hacia un fin, que no era otro que la salvación. Frente a esta visión, y siempre desde la convicción de que Dios está detrás de todo, la ciencia que podríamos llamar física, abogaba por rescatar una parte de la explicación para su campo. Así, aunque se consideraba la existencia de un alma inmortal, la vida era diferenciable de esta, y su existencia tenía unas causas, al menos las próximas, materiales. La descripción físico-química de parte los fenómenos vitales suponía una relación causal y por lo tanto, la imposibilidad de una orientación teleológica. La postura vitalista era firme, pero la naturalista mostraba cierta variación pues los nuevos descubrimientos iban dejando cada vez menos fenómenos sin posibilidad de explicación causal. Ya a finales del siglo XIX, Emil DuBois Reymond hizo público en dos tratados, «*Über die Grenzen des Naturerkennens*» (1872) y «*Die sieben Welträtsel*» (1880), sus dudas acerca de la influencia de las causas finales, no solo en aspectos claramente fisiológicos, como el movimiento muscular o del origen de la sensación, sino también «*del pensamiento y del lenguaje, del libre albedrío, etc*»³¹.

VÍCTOR.- Esas diferencias entre vitalistas y físicos son ciertas, pero tampoco la postura de los segundos era tan claramente científica, entendiendo por científico lo referido al método. Mayr afirma de los físicos alemanes de la segunda mitad del siglo XIX que «*nunca se dieron cuenta de que sus declaraciones sobre energía y movimiento no explicaban absolutamente nada*»³². En un principio, las explicaciones basadas en la energía eran tan *científicas* como las de los vitalistas basadas primero en el fluido vital y luego en la fuerza vital. La escuela de Montpellier en Francia o la *Naturphilosophie* en

29 [MAYR 2006], p 95

30 [EMMECHE, KÖPPE y STJERNFELT 1997], p 89

31 [GARRISON 1922], p 162

32 [MAYR 2005], p 21

Alemania, fueron importantes focos vitalistas que intentaron explicar los fenómenos biológicos desde este enfoque y localizar la fuerza vital. La *Lebenskraft* de Johannes Müller, aunque errada, era en ciertos aspectos comparable al actual *programa genético*: no localizado en un órgano concreto, divisible, desaparece con la muerte y sigue un plan³³. Si añadimos que el pensamiento teleológico dominaba la escena científica y que la alternativa era de naturaleza puramente mecanicista, podemos entender que el vitalismo llegara hasta principios del siglo XX.

EMILIO.- Eso en el campo de la fisiología, pero hay que tener presente que en ese final de siglo, Darwin ya había publicado su teoría de la evolución por selección natural que eliminaba la acausalidad natural no solo de las funciones vitales, sino de la misma aparición de la especie humana y de su finalidad. Es más, en su obra de 1871, «*The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*», afirma que el origen de la moral³⁴ e incluso el de la propia creencia religiosa³⁵ son explicables mediante la selección natural. No es de extrañar que Hans Driesch, el último vitalista influyente³⁶, fuera un furibundo antidarwinista³⁷. Este cambio de mentalidad junto a el avance de los descubrimientos de unos y el fracaso de las investigaciones de los otros acabaron por llevar a declarar a J.S Haldane en 1931 que «*los biólogos han abandonado casi unánimemente el vitalismo como creencia aceptable*»³⁸. Pero la desaparición del vitalismo como opción no supuso la aceptación del mecanicismo sino la introducción de un nuevo programa, el organicismo, que si bien aceptaba la idea básica de que las propiedades físico-químicas de los componentes eran las responsables últimas de todas las funciones vitales, consideraba que su influencia se disipaba conforme se ascendía en complejidad de forma que la totalidad, el organismo, influía causalmente en las partes. Esta visión era claramente heredera del vitalismo pero eliminaba la explicación sobrenatural de la vida manteniendo una distancia con el fisicismo puro. E.W. Ritter, introductor del término

33 [MAYR 2005], p 26

34 [DARWIN 2009] , p 122

35 *Ibid*, p 119

36 [EMMECHE, KÖPPE y STJERNFELT 1997] , 91

37 [MAYR 2005] , 27

38 J.S Haldane en [MAYR 2005] , p 30

«*organicismo*», lo expresaba así en 1919³⁹

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.

VÍCTOR.- Llegamos entonces al *quid* de la cuestión, al concepto de la emergencia. Si no recuerdo mal, fue G.H. Lewes⁴⁰ quien en bastante antes, en 1875, utilizó por primera vez el concepto de emergencia en su obra «*Problems of Life and Mind*» para referirse a este tipo de propiedades. Sin embargo, J.S Mill⁴¹ ya aludió a la existencia de cualidades que no podían derivarse simplemente de su composición sino que aparecían como algo novedoso. Mill habla en el contexto de modos mecánicos y químicos donde los primeros se comportan de forma *homopática*, es decir, el efecto total resulta como una mera suma de sus componentes, mientras que el segundo lo hace de forma *heteropática*, apareciendo propiedades no presentes en sus componentes. La física vectorial de las fuerzas puede ejemplificar el modo homopático mientras que las reacciones químicas hacen lo propio con el modo heteropático⁴². Teniendo en cuenta el conocimiento de la materia de la época, no es de sorprender la percepción de Mill. Resulta más que evidente, sobre todo en el campo de la química, que el resultado de mezclar dos productos tan corrosivos como la sosa y el aguafuerte resulte un líquido neutro, compuesto simplemente por agua y sal común⁴³. Esta novedad cualitativa fue la que posteriormente fue desarrollada ya con el nombre de propiedades emergentes, ya en el siglo XX por autores como C.D. Broad, Samuel Alexander y C. Lloyd Morgan.

EMILIO.- Completamente de acuerdo contigo, pero no debes dejar de considerar que Mill no era un vitalista, pues pensaba que tanto las leyes que regían los efectos homopáticos como las de los heteropáticos eran leyes causales⁴⁴. Además, también consideraba que las leyes heteropáticas complementaban a las homopáticas, pero no las sustituían. Estas

39 E.W. Ritter en [MAYR 2005], p 31

40 [EMMECHE, KÖPPE y STJERNFELT 1997], p 90

41 [O'CONNOR 2002], apartado 1.1

42 *Ibid*, apartado 1.1

43 La reacción química a la que hago referencia es a la neutralización de hidróxido sódico y ácido clorhídrico para rendir cloruro sódico y agua. $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

44 [O'CONNOR 2002], apartado 1.1

dos ideas le alejaban conceptualmente de los emergentistas británicos que has citado.

VÍCTOR.- En parte sí, pero tampoco Mill propuso una forma de resolver la emergencia de novedades cualitativas. Pero volvamos a los emergentistas británicos. Unas de las primeras descripciones de propiedad emergente se debe a Samuel Alexander quien en su obra «*Space, Time, and Deity*» de 1920 la describía de la siguiente forma:

Physical and chemical processes of a certain complexity have the quality of life. The new quality life emerges with this constellation of such processes, and therefore life is at once a physico-chemical complex and is not merely physical and chemical, for these terms do not sufficiently characterize the new complex which in the course and order of time has been generated out of them. Such is the account to be given of the meaning of quality as such. The higher quality emerges from the lower level of existence and has its roots therein, but it emerges therefrom, and it does not belong to that level, but constitutes its possessor a new order of existent with its special laws of behavior. The existence of emergent qualities thus described is something to be noted, as some would say, under the compulsion of brute empirical fact, or, as I should prefer to say in less harsh terms, to be accepted with the “natural piety” of the investigator. It admits no explanation.⁴⁵

Por lo tanto, para Alexander la realidad se organiza en niveles cuyas propiedades enraízan de forma anidada en los niveles previos pero que no son deducibles de ellos, de forma que ni siquiera un demonio laplaciano sería capaz de predecirlas a pesar de contar con toda la información necesaria. Sin embargo no duda de que toda la vida sea de naturaleza físico-química pero asegura que es la complejidad de la organización en niveles la que da lugar a una serie de *procesos* que determinan las propiedades de los niveles superiores. Es más, afirma que estas nuevas características sobrevienen de un proceso físico-químico concreto como si se tratase de una ley⁴⁶, pero que por alguna razón que no aclara no son deducibles desde abajo.

EMILIO.- El trabajo de Alexander supone, por tanto, una primera aproximación al concepto de emergencia en el que intenta de eliminar al aura de misterio del vitalismo

45 Samuel Alexander citado por [O'CONNOR 1994], p 93

46 [O'CONNOR 2002], apartado 1.3

sin caer en un mecanicismo fisicista absoluto. La imposibilidad de predicción de la materia desde el espacio-tiempo, de lo vivo desde lo inerte, de la mente desde la vida, de las cualidades terciarias de ésta a partir de ella y de la deidad desde la mente sin eliminar su naturaleza física son las señas de identidad de su visión de la emergencia. Sin embargo, no consigue resolver el problema que plantea⁴⁷. Además, me gustaría destacar la importancia que otorga a la organización jerarquizada en niveles, pues permite pensar de una forma sistémica donde los componentes de un nivel se relacionan entre sí, y con los de los niveles superiores, dando importancia a los procesos.

Siguiendo con los antecedentes, Arthur Lovejoy en su obra «*The Meaning of 'Emergence' and its Modes*» de 1927 se plantea también la cuestión de la emergencia y plantea tres condiciones que debe cumplir una propiedad para ser emergente, es decir, para proceder irreductiblemente de otras. Así, (a) solo puede darse en objetos con una determinada complejidad, (b) no debe estar presente en ninguna de sus partes componentes, y (c) debe ser distinta de cualquier propiedad estructural del objeto⁴⁸. De nuevo define, pero no resuelve.

VÍCTOR.- Pero quizá el análisis más completo del concepto de emergencia llevado a cabo en esta época es el realizado por C.D. Broad en 1925 en su obra «*The Mind and Its Place in Nature*». Para Broad, hay tres formas de resolver la aparición de propiedades emergentes como la vida o la consciencia. La primera es la que reside en un *vitalismo sustancial*, es decir, la existencia de una componente particular llamado *entelequia* (*entelechy*) que explica el comportamiento único de los organismos vivos⁴⁹. Analiza la posibilidad de su existencia describiendo ciertas analogías con algunos conceptos químicos, llegando a la conclusión de que nos encontramos más cómodos con la química que con la entelequia por su concepción puramente hipotética, por su composición misteriosa y por su cualidad inmaterial, razones que le llevan a considerar su *teoría del componente especial* como una doctrina, aunque posible, como poco satisfactoria. Lo deja bien claro cuando afirma que «*no se puede pasar una entelequia*

47 [O'CONNOR 1994], p 99

48 *Ibid*, p 100

49 [BROAD 1925], capítulo II

*de un hombre vivo a un cadáver y señalar que el primero deja de vivir y el segundo comienza a comportarse como vivo»⁵⁰. Broad opina que esta hipótesis de la entelequia ha sido considerada más de lo que su plausibilidad merece en parte por no entender más alternativas que el *Mecanicismo biológico*, cuando la opción a la que denomina *Vitalismo emergente*, es más convincente que los argumentos pro-vitalistas de Driesch evitando la concepción puramente reduccionista. La diferencia que ve entre el mecanicismo y el emergentismo es la que podemos llamar clásica: en el primero, las características de los todos están determinadas en las de sus partes y por lo tanto, pueden al menos en teoría, deducirse de ellas; en el segundo, ni existe esta determinación, ni por consiguiente, existe la más mínima posibilidad de predicción. Para Broad, si tenemos una serie de elementos *A*, *B* y *C* de forma que se interaccionan entre sí mediante la relación *R*, dan lugar a una combinación *R(A, B, C)* con unas propiedades características que no son deducibles de *A*, *B* y *C*. Además, si estos componentes se relacionaran entre ellos de una forma *S* distinta de *R*, darían lugar a otra combinación *S(A, B, C)* con unas propiedades diferentes a las de *R(A, B, C)* y tampoco predecibles desde los elementos que lo constituyen. Por lo tanto el resultado depende de los componentes y de la estructura⁵¹. Esta alusión a la estructura, como decías antes, ya estaba en Alexander, de quién Broad toma el término emergencia.*

EMILIO.- Efectivamente, a ese aspecto de Alexander me refería, al de las relaciones entre los componentes. Sobre este enfoque comentado por Broad, permíteme que use uno de sus ejemplos visto con la perspectiva del tiempo. Broad habla del agua, como nosotros al principio de esta discusión, pero el lo hace con el conocimiento que se tenía en 1925. Dice que el oxígeno y el hidrógeno tienen sus propias características, independientemente el uno del otro, es decir, son el *A* y el *B* de su formulación teórica anterior, y ambos están unidos para formar el agua en una relación *R*, según la ley de las proporciones definidas de Louis Proust conocida desde 1795. Es decir, el agua es un conjunto *R(A, B)* de forma, que «la mayoría de las propiedades químicas y físicas del agua no tienen ninguna conexión conocida, ya sea cuantitativa o cualitativa, con las

50 [BROAD 1925], capítulo II. La traducción es mía.

51 *Ibid*, capítulo II

del oxígeno y el hidrógeno»⁵². Pero esta misma explicación que daba Broad como *prueba* de la emergencia, se viene abajo con los conocimientos actuales de la estructura molecular del agua. Incluso, aunque no lo hemos comentado antes, existe una explicación física de la existencia de los elementos que conocemos, expuesta por originariamente vez por George Gamow al proponer la primera versión de la Teoría del Big Bang⁵³. Por lo tanto, al menos en el agua, las características esenciales del mecanicismo puro expuestas por Broad, a saber, a) existe un solo tipo de cosas diferenciables solo en su posición y movimiento, b) una única fuente de cambio, c) una única ley causal y d) un único y simple principio de composición, están cerca de cumplirse. En fin, que la imposibilidad puede ser simplemente desconocimiento. A esto quiero añadirle otra cuestión. Broad dice también que «*hasta que no hayamos probado un compuesto con cualquier otro compuesto y bajo todas las posibles condiciones de temperatura, presión, etc, no podemos saber si hemos agotado todas sus propiedades*»⁵⁴. Este es otro argumento central en la defensa de la existencia de propiedades emergentes, y en mi opinión se basa en una falacia que podríamos llamar de la notoriedad subjetiva. Al analizar una propiedad de forma descendente (*top-down*), es decir, partiendo del resultado, yo como observador doy una importancia a esa propiedad en relación a mi subjetividad. Sin embargo, al analizar desde abajo (*bottom-up*), desde los componentes, la gama de posibles resultados es enorme y la probabilidad de que deduciendo sin dirección, llegue a una propiedad que resulte interesante es muy pequeña.

VÍCTOR.- ¿Y qué me dices, no ya de la composición del amoníaco que describe Broad, sino de su olor al entrar en contacto con la nariz humana⁵⁵?

EMILIO.- Pues te contesto lo mismo que te dije al principio. Subjetividad resultante del aumento de la complejidad. Ahora son dos conjuntos los que interaccionan, uno el amoníaco, el otro, el ser humano. El resultado, desde abajo, imprevisible por improbable, no por imposible. Desde arriba, alcanzable aunque al entrar en juego la

52 [BROAD 1925], capítulo II

53 [GAMOW 1993], capítulo III

54 [BROAD 1925], capítulo II

55 *Ibid*, capítulo II

mente, de una complejidad tremenda, difícil de lograr. Las características físico-químicas del amoníaco, tales como las que hemos descrito del agua son, en principio, sencillas de predecir: su estado de agregación líquido a temperatura ambiente, su pH básico en agua, su tendencia a formar cationes, etc. El olor no es una propiedad del amoníaco, es una característica de este en relación con la sensibilidad humana. Suponiendo que conociéramos la estructura de los receptores olfativos que interacción con el amoníaco, podríamos saber si el pH de uno y del otro se afectan y como lo hacen, si provocará tal o cual cambio conformacional, si cierta concentración es suficiente como para superar el umbral del receptor y si provocará o no una respuesta nerviosa, etc. Pero para saber como el sistema nervioso central humano reacciona ante tal estímulo, es decir, para saber que sensación producirá el estímulo, deberíamos conocer la red neuronal de esa persona y la historia de exposiciones previas, entre otras cosas. Pero es que cada una de estos factores son a su vez complejos que tiene sus cadenas causales previas, por lo que, a pesar de ser posible conocerlo, es tan improbable que debemos simplificar, y ahí es donde se sitúa la raíz de la impredecibilidad.

VÍCTOR.- ¿Hablas entonces de modelización?

EMILIO.- Efectivamente, me refiero a los modelos como visiones simplificadas de la realidad que nos hacen tomar solo cierta cantidad de variables para estudiar una cuestión lo que nos lleva a acumular errores y por lo tanto...

VÍCTOR.- Perdona que te interrumpa. Antes de que sigas por ese camino quiero comentar un aspecto que has nombrado antes y que es la clave de la modernas visiones del emergentismo.

EMILIO.- Dime.

VÍCTOR.- En tu explicación acerca de como podríamos determinar, a partir de la estructura del amoníaco, como éste es percibido olfativamente por un humano, has dicho que deberíamos conocer, entre otras cosas, la historia de exposiciones previas de esa persona al amoníaco. Por lo tanto, estás diciendo que para conocer el nivel superior de interacción debemos conocer como éste afecta al nivel previo, o lo que es lo mismo, para determinar el nivel macro a partir del nivel micro necesitamos conocer como el

nivel macro afecta al micro. Entramos entonces en un bucle. Usando la terminología de Broad, si tenemos un sistema S formado por el conjunto de relaciones R entre los componentes A y B , $S = \{R(A, B)\}$, necesitamos conocer como S influye en A y B para poder determinar S a partir de A y B . Esta circularidad es una de las concepciones de emergencia que propone Robert Klee⁵⁶ en su análisis acerca de si la ésta es compatible con el micro-determinismo. Precisamente la que considera que es incompatible. Klee quiere contrastar las posibles concepciones existentes sobre la noción de emergencia con la idea de muchos científicos y filósofos de que en una estructura organizada en niveles de complejidad creciente, los niveles superiores son deducibles de los inferiores, creencia a la que denomina micro-determinismo. A esta y a otras tres concepciones⁵⁷ llega a partir de la consideración de emergencia de Stephen C. Pepper, quién en un pequeño artículo de 1926 habla de la ella 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 complejos. Añade que estas marcas son imposibles de deducir en un análisis ascendente, y posiblemente, también en uno descendente⁵⁸. Estas dos proposiciones, el cambio acumulado y la impredecibilidad son las dos cuestiones que Pepper cree claves para decidir entre la existencia de propiedades emergentes o de meros epifenómenos. Klee considera un primer aspecto sobre la emergencia, que no es sino la discusión acerca de la naturaleza de esas *marca*, es decir, sobre que es lo que emerge. Para algunos, como Meehl y Sellars, Kekes y Campbell, emergen leyes, para otros, como Weiss y Pattee⁵⁹, emergen restricciones del nivel micro que condicionan el nivel macro.

Efectivamente, Klee observa la aparición de novedades como otra de las características de la emergencia. Pero hay discrepancias entre que tipo de novedad es que que aparece en el nivel superior de organización. Kekes, por ejemplo, es de la opinión de que la esencia de la emergencia, la *marca* que buscaba Pepper, es la aparición de verdaderas

56 [KLEE 1984], p 48

57 *Ibid*, p 48

58 [PEPPER 1926]

59 [KLEE 1984], p 46

novedades⁶⁰, regularidades ontológicas que no están presentes en los niveles inferiores. Esta concepción que Klee llama emergencia nómica, se basa en que la materia viva se comporta de forma diferente a la inerte y esto es así en virtud de la organización⁶¹.

EMILIO.- Pero estas nuevas leyes que propone Kekes, podrían ser simples regularidades como-leyes (*lawlike regularities*)⁶² compatibles con el micro-determinismo, en cuyo caso el concepto de emergencia flaquea. Klee no encuentra, ni yo tampoco, ninguna razón para asegurar que estas regularidades emergen sin poder ser descritas desde niveles inferiores, máxime cuando algo tan sencillo como el desconocimiento puede estar detrás de la imposibilidad. Recuerda lo que hemos dicho hace un momento sobre esta opinión de Broad. Sería pues solo incapacidad, no imposibilidad. Es decir, que la emergencia nómica no es tal, o lo que es lo mismo, es compatible con el micro-determinismo.

VÍCTOR.- Algunos han propuesto una defensa de la emergencia nómica basándose en la impredecibilidad y en que al emerger la ley superior destruye a la inferior sustituye, «*they override and destroy the operation of those lower-level laws*»⁶³, dice Klee.

EMILIO.- Podría ser, pero, ¿en que se sustenta esa sustitución? No está claro.

VÍCTOR.- La otra posible *marca* que analiza Klee es la que propone que desde el nivel inferior surgen ciertas constricciones (*constraints*)⁶⁴ 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 en su clásico «*Life's Irreducible Structure*»⁶⁵ de 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 contenida en la secuencia de pares de bases nitrogenadas, es independiente de su composición física, o en sus propias palabras, «*it must be as physically indeterminate as the sequence of*

60 [KEKES 1966], p 360

61 *Ibid*, p 365

62 [KLEE 1984], p 46

63 *Ibid*, p 47

64 *Ibid*, p 45

65 [POLANYI 1968]

*words is on a printed page. As the arrangement of a printed page is extraneous to the chemistry of the printed page»*⁶⁶. Esta idea de Polanyi, la del auto-cierre de lo vivo como característica diferenciadora frente a lo inerte, ha sido el germen de otros conceptos posteriores como la autopoiesis⁶⁷ de Maturana y Varela, el cierre semántico⁶⁸ de Pattee, el cierre de causalidad eficiente⁶⁹ de Rosen o la obra de Kauffman.⁷⁰ Polanyi lo ejemplifica con el desarrollo embrionario, lo que hoy sería la cuestión de la *evo-devo*, 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.

EMILIO.- No quiero interrumpirte, y ya que has sacado el análisis de las distintas concepciones de emergencia, lo desarrollaré luego. Pero si el la información contenida en el ADN no depende de su composición química, ¿de dónde procede? Porque en el ejemplo que pone Polanyi, el del texto y la composición química de la tinta, es evidente que la información procede en última instancia del escritor, ¿es Polanyi un *finalista*?

VÍCTOR.- Polanyi decía que no, que la secuencia de ADN surgía evolutivamente⁷¹ y por lo tanto era azarosa, pero Jeffrey Goldstein, en un reciente comentario de la reedición del artículo clásico de 1968 piensa lo que tú, es más, dice de su *estructura* es expresión de su punto de vista teleológico tomado del vitalista Driesch⁷². Siguiendo con Klee, él también plantea sus dudas sobre la distinción que propone este límite en el sentido de que no hay nada que impida suponer que no son deducibles desde su estructura.

Resumiendo lo visto hasta ahora sobre el análisis de Klee, tenemos cuatro posibles condiciones que se han considerado como distintivas de la emergencia de una propiedad P a partir de una micro-estructura MS. Bastaría con una de ellas para que se pueda hablar de emergencia.

66 [POLANYI 1968], p 1309

67 [MATURANA y VARELA 2004]

68 [PATTEE 1982]

69 [ROSEN 1985]

70 [ETXEBARRÍA y UMEREZ 2006], p 24

71 [POLANYI 1968], p 1309

72 [GOLDSTEIN 2012], p 142

- 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 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 MS⁷³

EMILIO.- Concretando el análisis de Klee, podríamos denominarlas impredecibilidad, novedad, restricción y causación descendente. Sobre las tres primeras, estoy de acuerdo con el punto de vista de Klee de que son perfectamente explicables desde el micro-determinismo. Sobre la impredecibilidad haré dos puntualizaciones. Primero, que una propiedad sea impredecible a partir de sus partes componentes no implica que no está determinado por ellas, simplemente puede querer decir que somos incapaces de predecirlas, bien porque desconozcamos todas las partes, bien porque desconozcamos la forma en las que éstas se relacionan, bien porque lleguemos a predecir dicha propiedad de una forma teórica pero no la identifiquemos con la forma práctica que vemos desde nuestra perspectiva superior. Segundo, al ser explicables las propiedades desde los dos planteamientos, los partidarios de este tipo de emergencia deberían demostrar que la impredecibilidad se basa en la estructura y que además ésta no depende de los componentes, y esto es algo que aún no han hecho⁷⁴.

Sobre la novedad, me remito a lo que hemos hablado al principio sobre el agua. Hay propiedades, como la cualidad de ser líquido, que a pesar de ser completamente dependiente de la naturaleza de sus componentes, no tienen sentido sino es a partir de un cierto nivel. No se puede hablar de si una sola molécula de agua es líquida o gaseosa, como tampoco se puede hablar de si un determinado volumen de agua es o no líquido si el observador es del tamaño de una sola molécula. Por eso soy partidario de denominarlas *propiedades de nivel*.

73 [KLEE 1984], p 48

74 *Ibid*, p 51

Siguiendo con el orden de concepciones de emergencia propuestas por Klee, llegamos a las dos últimas y más difíciles de rebatir, las cuales tienen una base similar: la influencia del nivel superior sobre el inferior. La primera de las dos, o la tercera del total de consideraciones de emergencia, es la que argumenta que la estabilidad de las propiedades del nivel superior es mucho mayor de lo que las posibles fluctuaciones del nivel inferior permite asumir. Paul Weis en su «*The living system: determinism stratified*»⁷⁵ dice que si tenemos un sistema S formado por varias partes, A, B, \dots, N y analizamos la variación-fluctuación de cada una de estas partes, V_A, V_B, \dots, V_N , resulta que la variación del sistema es mucho menor de lo que se esperaría en función de las variaciones parciales. Es decir, $V_S \ll \{V_A, V_B, \dots, V_N\}$. Esta idea es básicamente la misma que las condiciones de contorno de Polanyi y las variantes ya citadas de Pattee y Rosen: el nivel macro restringe al micro.

VÍCTOR.- Tienes razón en que quizá sean estos dos enfoques los que dan más peso a la emergencia. No obstante, aunque la impredecibilidad y la novedad puedan explicarse desde el micro-determinismo no quiere decir que esa sea la opción correcta, máxime cuando las explicaciones deterministas para la restricción y la causalidad descendente no se explican con tanta facilidad desde tu enfoque.

EMILIO.- Hombre, quizá con tanta facilidad no, pero se puede explicar. De todas maneras de tu aseveración se desprende que sea una cuestión de los deterministas demostrar que no existe la emergencia. Pero bueno, como de costumbre parece que son los otros los que tienen que demostrar que lo de los unos no es cierto. Dejemos esto para luego y sigamos con la consideración de la influencia del nivel macro en el micro.

Klee recurre⁷⁶ a la idea de superveniencia de Jaegon Kim⁷⁷ para rebatir el argumento de Weis. La idea es romper la linealidad entre el nivel micro y el macro de manera que la relación se establece, no entre propiedades, sino entre *familias de propiedades*. De esta manera, un conjunto de propiedades macro *supervienen* de un conjunto de propiedades micro cuando estando determinadas por ellas no lo hacen linealmente, pues dentro de la

75 [KLEE 1984], p 54

76 *Ibid*, p 56

77 [KIM 1978]

familia puede haber variación. Pero lo más interesante para el uso que Klee hace de esta idea, es que la correspondencia es no simétrica. Así como de una determinada familia de propiedades inferiores se desprende un solo conjunto de propiedades superiores, y si no se tienen las mismas propiedades macro no pueden tenerse las mismas micro, si puede darse el caso de que se tengan las mismas propiedades macro partiendo de diferentes estados micro⁷⁸ y así se explica la menor variedad de estados macro respecto a los posibles.

VÍCTOR.- Bueno, pero no deja de ser un argumento reversible, pues no hay ninguna razón para suponer que aunque pueda haber varios estados micro que den lugar a idénticos estados macro de hecho los haya. Es más, no hay ninguna razón para pensar que no pueda haber incluso más estados macro pues se logran a partir de combinaciones de los niveles inferiores. En realidad la idea de la superveniencia es una especie de intermedio entre la emergencia y el reduccionismo, pero en mi opinión no resulta satisfactoria. El propio Klee dice que no cree que las ideas de Polanyi y derivadas se sientan aludidas por este argumento pues en ellos subyace la idea de un retro-control de los niveles superiores sobre los inferiores⁷⁹. Precisamente esta tesis subyace en el ejemplo que puse hace un rato sobre la sensación que produce el amoníaco y su dependencia de la experiencia previa de haberlo oído, o lo que es lo mismo, la cuarta concepción de emergencia planteada por Klee.

EMILIO.- La causación descendente.

VÍCTOR.- A eso me refiero. R.W. Sperry expone este problema hablando sobre la influencia de la conciencia en los micro-estados del cerebro, y ejemplifica esta macro-determinación haciendo una analogía con una rueda que desciende por una ladera⁸⁰. En su ejemplo afirma que del movimiento de cada uno de los micro-componentes de la rueda por separado no puede deducirse el movimiento global sino que se ven influidos por el objeto del que son componentes. De la misma manera, D.T. Campbell⁸¹ habla de la macro-determinación en referencia a la selección natural. Según su enfoque, el nivel

78 [MCLAUGHLIN y BENNETT 2014]

79 [KLEE 1984], p 56

80 *Ibid* p 57

81 *Ibid* p 57

superior que supone el entorno de una población influye en forma determinativa en la selección de uno u otro fenotipo, y por lo tanto, de los genotipos. Si la idea de superveniencia no resultaba definitiva frente a las restricciones, su combinación con la causación descendente puede dar al traste con el micro-determinismo absoluto, y habría que suavizarlo.

EMILIO.- Tienes razón en que esta idea conjunta supone el principal reto para el micro-determinismo. Es más, no soy partidario de *suavizar* planteamientos. O hay determinismo o no lo hay, pero hablar de determinismo fuerte o débil, siendo el segundo una forma del primero que renuncia a su premisa principal, no me parece aceptable. Por seguir con Klee, en su artículo plantea una refutación de la causación descendente, aunque él prefiere usar el término macro-determinación basada en la concreción de los conceptos de *nivel* y *sistema*. Yo tengo un punto de vista diferente al de Klee, y por supuesto también a los de Campbell y Sperry, pero voy a continuar exponiendo los puntos de vista más actuales y luego te daré el mío.

VÍCTOR.- De acuerdo

EMILIO.- Klee diferencia la relación de determinación entre niveles dentro de un sistema y de sistemas funcionales independientes. La influencia de la conciencia en la estructura cerebral que plantea Sperry es un caso del primer tipo y la acción del ambiente en las poblaciones para dar como resultado la evolución por selección natural es una ejemplificación del segundo. Pero más allá de hacer esta distinción para analizarlas por separado no veo una refutación clara de las distintas posiciones. De la primera de las relaciones, la de tipo internivel propuesta por Sperry simplemente dice que, a pesar de resultar amenazador, no lo es tanto como si «*proporcionara un mecanismo plausible de macro-determinación o, en última instancia, si pudiera basarlo en algo más que analogías y ejemplos*»⁸². El segundo de los casos, el de Campbell, lo intenta resolver eliminando la relación jerárquica de los dos niveles-sistemas planteados. Es decir, si consideramos que el entorno (ambiente) no es un nivel superior al de las poblaciones, sino otro nivel funcional de importancia equivalente, no existe una relación de

82 [KLEE 1984] , p 61

causación de arriba a abajo, sino entre iguales, y aunque no la explica con claridad, al menos descarta la macro-determinación.⁸³ Tengo que reconocerte que no me convence en exceso.

VÍCTOR.- Ni a mí. De entrada la elección entre nivel y sistema que hace en cada uno de los casos me parece ligeramente sesgada. El mismo Klee dice que sistema y nivel son dos conceptos fuertemente cargados de teoría y que la asignación de una determinada *estructura* a uno u otro es algo contextual. ¿En que se basa entonces para decidir que en el caso de Sperry nos encontramos en dos niveles del mismo sistema pero en el caso de Campbell no? Ya lo decía Petrus Ramus en el siglo XVI, *«todo está compuesto de pequeñas unidades, y la inteligencia las agrupa espacialmente en aglomeraciones, o divide éstas en sus unidades»*⁸⁴. Por lo tanto, de la misma manera que Klee considera que la conciencia es un nivel que se relaciona con dominancia jerárquica con los estado neuronales dentro de un mismo sistema funcional, también podría decir que el ecosistema se relaciona de la misma manera con las poblaciones que lo componen, en lugar de considerar el entorno de forma independiente. De esta manera tendría una equivalencia entre ecosistema y conciencia ambas jerárquicamente superiores a población y neuronas, y ahora no se encontraría con una situación simplemente amenazante por usar analogías, sino un caso difícil de resolver y con una ejemplificación real.

EMILIO.- Esa es la razón de que no me convenza la solución de Klee y crea que hay que atajar el problema de otra manera. Al fin y al cabo es la necesidad de explicación la que nos lleva a la construcción de jerarquías pues es la causalidad ascendente la que nos proporciona respuestas más allá de meras descripciones⁸⁵ y es esta *«posibilidad de filiar relaciones causales [la que] se encuentra íntimamente relacionada con la de clasificar variables formando una jerarquía de conjuntos: nivel I, nivel II, nivel III, y así sucesivamente»*⁸⁶. Uniendo esta idea de Albert Ando con la de la inteligencia de Petrus Ramus y con la necesidad de explicación planteada por Klee, podemos entender que

83 [KLEE 1984], p 62

84 Petrus Ramus citado por Lancelot Law Whyte en [LAW WHYTE, WILSON y WILSON 1973], p 23

85 [KLEE 1984] , p 60

86 Albert Ando citado por Lancelot Law Whyte en [LAW WHYTE, WILSON y WILSON 1973] , p 23

cuando miramos a niveles inferiores *vemos* la causalidad, mientras que cuando miramos a los superiores, no la vemos tan clara. Pero, añado, la causalidad depende de todas las subestructuras de la jerarquía y conocerlas no es algo sencillo. Cuando el salto de nivel es pequeño, de uno o dos órdenes, es *fácil* detectar cuales son los componentes, pero cuando saltamos por encima de cierto número de órdenes, la cuestión se complica. Además, en función de cómo nosotros, los observadores, nos situamos en el orden jerárquico, veremos estos de uno o de otra forma, considerándolos inferiores, superiores o iguales. Si nos emplazamos en el centro de la jerarquía, como de hecho hacemos, de nuestra posición para abajo vemos claramente componentes, pero para arriba, no lo hacemos. Ese es para mi el error de Klee. De forma no justificada, toma para el caso de Sperry dos niveles diferentes jerarquizados, mientras que para el ejemplo de Campbell toma dos niveles-sistemas paralelos pudiendo haberlo elegido al revés en ambos casos. Tenemos que comprender, como te intenté explicar con el agua, que las estructuras jerárquicas son dependientes del observador y que los niveles son subjetivos y forman parte de una simplificación de la realidad. Dentro de esta modelización se puede hablar de *emergencia*, pero no me parece necesario, salvo desde un enfoque práctico.

VÍCTOR.- Uf. Has hablado de golpe de emergencia epistemológica, de modelización y de teoría de sistemas.

EMILIO.- Exactamente. Y una cosa más antes de entrar en detalle en esos aspectos. De la afirmación de Ramus, que comparto por completo, se puede extraer un aspecto apenas comentado, pero que Mario Bunge remarca en su reciente obra «*Emergencia y convergencia*». Me refiero a la extinción⁸⁷ de propiedades. Así, de igual manera que al agrupar componentes en una estructura superior aparecen propiedades ligadas a ese nivel, al desagrupar ese nivel en sus componentes desaparecen propiedades. Esto no es más que una manifestación de que las propiedades no aparecen ni desaparecen, descartando por lo tanto la novedad planteada más atrás, sino que se manifiestan en función del nivel del observador.

VÍCTOR.- Pero antes de que empieces con tu punto de vista, déjame que te exponga otra

87 [BUNGE 2004], p 52

versión de emergencia, que aunque no te guste el término, podríamos denominar más débil...

EMILIO.- Espera, no digo que no me guste el término *débil* en general, sino que no me gusta aplicarlo en situaciones en las que denota una rebaja en la característica principal de algo. En el caso del reduccionismo no creo que pueda aplicarse. Por hacer un símil, sería como usarlo para referirse a un evolucionismo débil que admitiera, por ejemplo cierta teleología, algo que por otra parte me parece que hacen ciertos biólogos creyentes. Otra cosa es su uso en el emergentismo, pues si se admite, como hacen la mayoría de los emergentistas y como hemos acordado tú y yo al principio de esta charla, que *en el fondo* todo es materia, se puede dar diferente protagonismo a las partes y a las interacciones, enfatizando más unas o las otras.

VÍCTOR.- De acuerdo entonces. Me refiero a puntos de vista como el de Wimsatt y su consideración de que «una propiedad emergente es, más o menos, una propiedad del sistema que depende del modo de organización de las partes del sistema»⁸⁸. Según esta visión, todas las propiedades de un sistema son emergentes, y solo los simples agregados no presentan este tipo de propiedades, siendo la emergencia la regla, no la excepción⁸⁹. La esencia de este planteamiento la sitúa en lo que denomina *condiciones de agregatividad*⁹⁰ y solo los sistemas que los cumplen no pueden considerarse emergentes y por lo tanto sus propiedades dependen solo de la suma de sus partes, sin considerar la disposición de éstas y sus relaciones. Estas condiciones se refieren a la intersustitución o reordenamiento de las partes, la adición o sustitución de las mismas o a su posible descomposición o reagregación. Añade una cuarta condición de tipo lineal, la inexistencia de cierta interacción entre las partes, cooperativa o inhibitoria, que influya en el resultado final⁹¹. Solo las *combinaciones de partes* que cumplan las cuatro condiciones no serán emergentes. Como resulta evidente, la fuerza de tales condiciones es tal que muy pocas propiedades pueden considerarse meros agregados. Solo la masa,

88 [WIMSATT 1997], p S373

89 *Ibid*, p S382

90 *Ibid*, p S375

91 *Ibid*, p S376

el momento o la carga neta⁹², es decir, las magnitudes que forman parte de las leyes físicas de conservación.

EMILIO.- Me parece interesante el enfoque de Wimsatt, compatible como él mismo dice, con el reduccionismo. Pero hay ciertos detalles en la aplicación de sus condiciones de agregatividad, más exactamente en la cuarta, que no acabo de ver claras. Wimsatt dice que la masa cumple con las cuatro condiciones. Si reordeno las partículas la masa será la misma. Idéntico resultado obtendré si sustituyo alguna partícula por otra de igual masa, o si lo descompongo y lo vuelvo a componer. La masa será la misma. Pero un simple agregado de masa tiene un volumen, lo que determina una densidad, y este volumen no aumenta linealmente con la masa sino que lo hace de forma decreciente debido a la atracción gravitatoria, luego la densidad variará con la cantidad. Es decir, la cuarta condición no se cumple, al menos que se refiera a una masa puntual, o se refiera a la masa como propiedad aislada de otras características que de ella misma emanan. En parte, me da la sensación, y quiero dejar claro que es eso, una sensación, de que quiere demostrar la existencia de meros agregados para poder compatibilizar su concepto de emergencia con cierto, y mínimo, reduccionismo. Por adaptar sus propias palabras, un «*wannabe emergentism*»⁹³. Sin embargo, la idea de que todas las propiedades son emergentes porque dependen de la disposición de sus partes, no está tan alejada como puede parecer de aquella que dice que ninguna propiedad es emergente porque solo dependen de las partes y de como éstas interaccionan. Incluso se puede aprovechar la idea del propio Wimsatt acerca de las condiciones intersistémicas y extrasistémicas⁹⁴ para explicarlo. Pero para ello debemos determinar qué sistemas consideramos, cuáles son sus límites y por qué se los ponemos y cuáles y qué son sus propiedades.

VÍCTOR.- No estoy seguro de que ese ejemplo de la masa y la densidad violen la norma de Wimsatt sobre la agregatividad. Creo que él piensa en la masa exclusivamente, de forma aislada.

EMILIO.- Pero es que una masa nunca puede estar aislada del volumen que ocupa, ni

92 *Ibid*, p S380

93 [WIMSATT 2006], p 445

94 [WIMSATT 1997], p S374

quiera conceptualmente. Y si al considerar la masa inseparable del volumen vemos que la alteración de la primera implica una modificación *no lineal* de la segunda se incumple la cuarta de sus normas.

Sistemas

VÍCTOR.- Viéndolo así... Por otra parte, has dicho que las caracterizaciones de interno o externo a un sistema determinado que hace Wimsatt pueden ayudar a defender precisamente la inexistencia de las propiedades emergentes. Pero, internas o externas ¿a qué?

EMILIO.- Precisamente de esa pregunta es de donde surge mi interpretación. Bertalanffy define sistema de una forma aparentemente sencilla. Dice que son «*complejos de elementos en interacción*»⁹⁵ que tienen, como conjuntos, propiedades similares que pueden analizarse de forma matemáticamente idéntica. Pone un ejemplo sencillo referido a la ley exponencial de crecimiento que es aplicable a células, animales, poblaciones, etc. Son por lo tanto conjuntos isomorfos razón por la cual se comportan y pueden estudiarse desde un mismo enfoque. Pero también dice que su teoría de sistemas es una teoría de la «*'totalidad', concepto tenido hasta hace poco por vago, nebuloso y semi-metafísico*»⁹⁶. Un sistema determina, por lo tanto, la existencia de un conjunto de características intrínsecas al sistema así como de otro conjunto de propiedades de naturaleza extrínseca. En función de la naturaleza del tipo de relaciones del sistema con su exterior, éste podrá ser abierto, si intercambia energía y materia, cerrado, si solo intercambia energía y aislado, si no intercambia nada. La finalidad de usar un sistema como tal es aprovechar los isomorfismos propuestos por Bertalanffy para establecer teorías y leyes similares a los sistemas por el hecho de ser sistemas, independientemente de su naturaleza. Por ejemplo, la ley de crecimiento exponencial a la que recurre Bertalanffy es aquella que dice que, la tasa de crecimiento de una población es directamente proporcional a esta población, siendo la constante de proporcionalidad un factor denominado *potencial biótico* que resulta característico de cada población. Así,

95 [BERTALANFFY 1976], p 33

96 *Ibid*, p 37. La palabra «totalidad» aparece remarcada en el original.

partiendo de una población N con potencial biótico r , la tasa de crecimiento será:⁹⁷

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N$$

Esta ley tan sencilla, en principio, es común a poblaciones tan diversas como las formadas por bacterias o por humanos, pero resulta evidente que a poco que pasara el tiempo la situación tornaría insostenible. ¿Sabes cuántas bacterias tendríamos a partir de una sola en un periodo de un día ?

VÍCTOR.- Pues teniendo en cuenta que una bacteria tipo se divide cada 20 minutos aproximadamente y que un día tiene 72 veces 20 minutos, la cuenta es sencilla: 2^{72} . Lo que hace un total de... déjame un momento... 4.722.366.482.869.645.213.696 bacterias. ¡Casi 5 mil trillones⁹⁸ de células! Algo evidentemente imposible, no tendrían alimento.

EMILIO.- Ni alimento, ni espacio, ni posibilidad de recibir oxígeno, ni de no intoxicarse entre ellas debido a los productos de desecho, etc. Por eso se introdujo otro factor en la ecuación que contemplara estos recursos limitantes, la *capacidad de carga* K , definida como el máximo de población que los recursos del ambiente puede soportar sin interferir en su crecimiento. La ecuación queda ahora así:⁹⁹

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N \cdot \left(\frac{K - N}{K} \right)$$

Si representáremos gráficamente la ecuación, veríamos que para valores de N muy alejados de K , el crecimiento es *prácticamente* exponencial, mientras que conforme aumenta la población, y los valores de N se acercan a K , el crecimiento se suaviza hasta *prácticamente* detenerse cuando N es muy próximo a K . Es decir, la clásica curva sigmoidea de muchas funciones biológicas.

VÍCTOR.- Te sigo. Quieres decir que uno de los problemas de trabajar con sistemas es que hay que modelizar, es decir, trabajar con simplificaciones de la realidad, y que en función del número de variables elegidas el resultado será uno u otro. Siguiendo con tu ejemplo, K es una variable que incluye una amplia variedad de factores limitantes, que

97 [CÁCERES VÁZQUEZ 2011], p 270

98 Un trillón europeo, es decir, un millón de millones de millones (10^{18})

99 [CÁCERES VÁZQUEZ 2011], p 270

bien necesita su propia modelización, bien se debe obtener de forma experimental, con la consiguiente inexactitud en ambos casos. Yo todo esto sin considerar las relaciones de nuestra bacteria-sistema con otros sistemas: depredación, competencia, simbiosis, oportunismo, etc.

EMILIO.- Efectivamente, pero no es un problema en sí, es que no se puede hacer de otra forma.

VÍCTOR.- Entonces la modelización y el consiguiente tratamiento de los conjuntos de elementos tomados como sistemas es una forma práctica de conocer el mundo.

EMILIO.- Si, pero con una puntualización. Tenemos que tener claro que los sistemas implican modelización, y por lo tanto, hay un número de variables que no incluimos en el modelo, bien porque no lo creamos conveniente, bien porque las desconozcamos, que introducen una indeterminación. Por eso, las distintas propiedades con las que caracterizamos un sistema son a su vez modelos, y estas propiedades-modelo son difusas. Piensa en algo tan evidente, a priori, como el color de una amapola. Hablamos del color rojo como una propiedad óptica concreta, de forma que podemos decir que «todas las amapolas (rojas)¹⁰⁰ son rojas». Pero «ser rojo» es un modelo del color, pues decimos que un objeto es de ese color cuando refleja una luz con una longitud de onda comprendida entre los 620 nm y los 750 nm. Además, si miramos con detalle a la superficie de la amapola, veremos que no es uniformemente roja, sino que tiene nervaduras y otras estructuras que muestran otro color. No obstante, desde cierta distancia (perspectiva) la veremos roja y diremos de ella que es roja, por lo que la propiedad ser rojo es una *propiedad promedio* que depende de la elección del sistema, del punto de vista del observador y del grado de modelización que hagamos, amén de por su composición. En mi opinión, es en la elección arbitraria, generalmente heurística, de las propiedades promedio donde radica la apariencia de emergencia. Por lo tanto, una propiedad promedio no es más que una propiedad *vista desde lejos* pero que cuando la observamos desde cerca, vemos que en realidad es un conjunto de propiedades similares que se originan en estados diferentes.

100 Añado esta nota solo para indicar que no voy a referirme al hecho de que haya amapolas de otros colores, pues podríamos llamarlas de otra forma.

VÍCTOR.- Entonces, dices que todas esas propiedades no tienen valores exactos sino aproximados y son más o menos comparables en función de sus medias, medianas y desviaciones típicas. Así, si medimos el pH de un vaso de agua natural el valor que obtengamos es solo un valor promedio, y si nos da un valor de 7,1 el verdadero pH no es sino una gama de valores cuya media esa cifra. Por lo tanto, desde diferentes estados microscópicos se puede llegar a estados finales promedio idénticos para una determinada propiedad. Algo así como los estados equifinales propuestos por Bertalanffy¹⁰¹.

EMILIO.- Algo parecido, pero Bertalanffy se refiere más a sistemas vivos que a otro tipo de sistema. Imagina que en vez de un solo vaso de agua, tomamos dos de lugares diferentes y medimos su pH con el resultado de 7,1 en ambos casos. Podríamos decir que, supuesto que las aguas serán diferentes, hemos llegado a un mismo estado final y que por lo tanto, no es tan dependiente de sus componentes como de las relaciones entre ambos. Pero según mi enfoque que considera que ese valor de 7,1 es solo un promedio, no se puede hablar del mismo estado final. Piensa en algo más complicado, por ejemplo dos glóbulos rojos de dos personas diferentes. En ambos casos se trata de dos células anucleadas que captan oxígeno en los alveolos pulmonares uniéndolo a la hemoglobina y tras viajar por el torrente circulatorio lo intercambian por dióxido de carbono en los capilares tisulares. Consideramos a los glóbulos rojos como un sistema definido por su membrana, de forma que queda determinado un medio externo y un medio interno, ambos modelizados para tratar su función principal, el intercambio de oxígeno. Así, del medio interno, nos importa la hemoglobina y la concentración de oxígeno y dióxido de carbono, mientras que del medio externo solo nos preocupan dichas concentraciones. Es más, lo que de verdad nos resulta interesante es el pH sanguíneo, ya que cuando la concentración sanguínea de CO₂ se eleva, el pH baja ligeramente acidificando la sangre. Hecha esta simplificación, ambos eritrocitos cumplen la misma función y cuando el pH sanguíneo desciende liberan O₂ captando CO₂, evidentemente en presencia de dichos gases. Es el denominado *efecto Bohr*¹⁰². Resulta evidente que nuestros dos eritrocitos

101 [BERTALANFFY 1976] , p 147

102 [LEHNINGER 1985] , p 151

procedentes de dos personas distintas serán materialmente diferentes, pero ambos cumplen la misma función por lo que, en palabras de Bertalanffy podemos considerarlos como estados equifinales.

VÍCTOR.- Si no me equivoco, lo que quieres decir es que son solo estados equifinales en cuanto a sistemas simplificados, es decir, como cajas negras, pero que si las abrimos veremos que esos estados finales caracterizados por porcentajes, por concentraciones y por gradientes, podremos ver que esos sistemas son solo pseudo-equifinales ligados al concepto de función biológica.

EMILIO.- Efectivamente. La hemoglobina es una proteína muy utilizada para hablar de las propiedades emergentes. Su estructura es de tipo multiglobular y está formada por dos cadenas α y dos cadenas β cada una de las cuales porta un grupo hemo con un átomo de hierro ferroso capaz de unir una molécula de oxígeno. Por lo tanto, cada hemoglobina puede transportar cuatro moléculas de oxígeno. La hemoglobina es una molécula que presenta una característica denominada cooperatividad, consistente en la existencia de dos estados con diferente afinidad por su sustrato, siendo mayor cuando hay más oxígeno. Tenemos pues una forma de alta afinidad y una de baja afinidad para una molécula con los mismos elementos constituyentes, de manera que las cuatro condiciones de emergencia de Klee se hacen evidentes: impredecibilidad, desde la estructura de baja intensidad nada hace pensar que pueda aparecer la de alta afinidad; novedad, la alta afinidad aparece solo en presencia de oxígeno; restricción, las posibles combinaciones son mucho mayores que las que verdaderamente se dan; y causación descendente, el estado de alta afinidad de la molécula completa influye en cada uno de sus dominios.

VÍCTOR.- Y si a ese efecto le añades la influencia del pH o de la concentración de dióxido de carbono tenemos que la misma molécula adquiere diferentes propiedades en función del entorno.

EMILIO.- No, la misma molécula no. Una vez que el oxígeno se une al hierro la hemoglobina pasa a tener otra composición. Es cierto que la diferencia es muy pequeña y que la unión es temporal, pero incluso se la denomina oxihemoglobina en vez de

desoxihemoglobina. Este cambio, por cuantitativamente pequeño que pueda parecer, provoca un desplazamiento de 0,6 Å en el plano del grupo hemo *aplanando* la molécula, efecto que a su vez modifica la posición relativa de las cadenas α_1 y β_2 . Ahora, en lugar de formarse un enlace por puente de hidrógeno entre el ácido aspártico en posición 99 (Asp99) de la cadena β_2 y la tirosina localizada en el puesto 42 (Tyr41) de la α_1 , se establece entre la asparagina de la posición 102 de la primera cadena (Asn102) y el ácido aspártico de orden 94 (Asp94) de la segunda¹⁰³. Esas modificaciones estructurales son consecuencia de un cambio en un componente y produce una reacción en cascada de cambios de posición, de manera que tras la unión del primero oxígeno el cambio producido es tal que la molécula se abre facilitando el acceso de nuevos oxígenos a los otros grupos hemo. Esta particularidad, de la que no dispone la mioglobina (molécula similar pero con una sola cadena, y por lo tanto sin cooperatividad), tiene como consecuencia que la hemoglobina capte gran cantidad de oxígeno cuando hay una concentración elevada del gas, como ocurre en los alveolos pulmonares, pero que lo ceda cuando la concentración es baja, situación que se da en los capilares tisulares¹⁰⁴.

VÍCTOR.- De la misma forma se puede explicar entonces el efecto Bohr.

EMILIO.- Claro, porque la hemoglobina, además de ser una proteína cooperativa, presenta alosterismo, es decir, sitios de unión para otros sustratos que van a modular su función. En concreto, presenta modulación mediada por CO₂, H⁺ y 2,3 difosfoglicerato (DFG). Los H⁺ se unen a las histidinas de las cadena β_2 estabilizando la forma de baja afinidad, el CO₂ enlaza con los extremos N-terminal de todas las cadenas con el mismo resultado y el DFG se intercala entre ambas cadenas β estabilizando también la forma menos afín al oxígeno¹⁰⁵. Por lo tanto, el pH, es decir, la concentración de H⁺ influye también en cuanto a componente, no solo como entorno.

VÍCTOR.- Entonces, estos cambios de estructura producidos por una modificación de sus componentes dan lugar a cambios sutiles en la afinidad de la hemoglobina por el

103 [TEJEDOR 2012] , tema 5, p 13

104 [LEHNINGER 1985] , p 151

105 [TEJEDOR 2012] , tema 5, pp 21-22

oxígeno que se manifiestan en una mayor sensibilidad a la concentración de oxígeno. Así, cuando a partir de una concentración determinada de oxígeno este se unirá en abundancia, saturando la hemoglobina en un 98%, algo que ocurre en los alveolos pulmonares, pero cuando hay poco oxígeno como ocurre en los capilares tisulares, la influencia del dióxido de carbono y del DFG favorecen la forma de baja afinidad y la hemoglobina libera cerca del 70% del oxígeno transportado.

EMILIO.- Ahora que hablas de saturación es importante remarcar un aspecto que a veces pasa desapercibido, y que creo que es clave para entender la diferencia entre niveles macro y micro. Cuando hablamos desde nuestra perspectiva macroscópica y decimos que la hemoglobina está saturada de oxígeno en un 98% para una concentración concreta de este gas parece que hablemos de una especie de contenedor que está más o menos cargado. En la transición micro → macro modelizamos las moléculas haciéndolas progresivamente variables cuando en realidad son de tipo discreto. Es decir, el oxígeno se une o no se une al grupo hemo, no hay término medio. Si hablamos de porcentajes es porque nos referimos a la unión como a una propiedad promedio, algo que ya hemos dicho que forma parte de nuestra modelización. Piensa en una sola molécula de hemoglobina como una asociación no covalente de sus cuatro cadenas y en cierta cantidad de oxígenos en su entorno. Sería comparable al *green* de un campo de golf pero con cuatro hoyos, y a una cantidad variable de pelotas. Cada hoyo tiene un tamaño en el que cabe una pelota y un mecanismo que conforme una bola entre en él aumenta el tamaño de los demás hoyos¹⁰⁶. Si la cantidad de pelotas que ruedan por el *green* es pequeña será difícil que alguna entre en un hoyo, pero si una entra, el aumento del tamaño de los demás hoyos hará más fácil que las demás caigan. Una vez que los cuatro hoyos están completos, da igual cuantas bolas pasen por encima de él, no entrarán más. Desde la perspectiva de una sola cadena de la hemoglobina, no existe la cooperatividad, solo recibe o no recibe un ligando. Desde una perspectiva

106 Hay incertidumbre acerca de como es el equilibrio entre las formas relajada o de alta afinidad y tensa o de baja afinidad. Según el modelo secuencial propuesto por G. Adair y desarrollado por D.E. Koshland, la transición de forma tensa a relajada se hace, como su propio nombre indica, de forma seriada, en cuatro pasos intermedios. Por el contrario, el modelo simétrico propuesto por J. Monod, J. Wyman y J.P. Changeux supone que el cambio de los cuatro sitios ocurre a la vez. En cualquier caso el efecto es el mismo. [LEHNINGER 1985] pp 151-153,

organizacionalmente superior si que existe esta propiedad, pero como una propiedad promedio del *todo o nada* de las cadenas individuales. La novedad que supone la cooperatividad, y que puede entenderse como una condición de emergencia, es un promedio de propiedades discretas de un nivel inferior reducibles a éstas y determinadas por su composición.

VÍCTOR.- Pero la estructura tendrá algo que ver, no tienes nada más que comprobar que tanto las cadenas α como las β cuentan con composiciones diferentes pero cumplen la misma función biológica. Además, las distintas cadenas de las diferentes hemoglobinas de todos los seres vivos cumplen la misma función, luego tienen la misma estructura, pero tienen secuencias aminoacídicas diferentes. Por ejemplo, si comparas la secuencia de aminoácidos de la cadena β de la hemoglobina humana y de conejo verás que de los 147 aminoácidos, solo 133 son idénticos y que aun así la función de la cadena se mantiene.

EMILIO.- Estoy de acuerdo contigo, pero solo en parte. Siguiendo con tu comparación, de esos 14 aminoácidos diferentes, resulta que 9 de ellos se consideran equivalentes en cuanto a su composición¹⁰⁷, y por lo tanto van a poder formar parte de la cadena sin producir variaciones significativas. Además, ninguno de los 14, ni los equivalentes ni los diferentes, forman parte de los sitios funcionalmente importantes de la molécula, y con ello me refiero a los sitios activos, sitios de unión o lugares de enlace con el hierro¹⁰⁸. En esos lugares vitales para la posibilidad de unión del oxígeno, ambas cadenas son absolutamente idénticas. Eso si hablamos de la variante más habitual de estas cadenas, porque de cada una de ellas existe una importante cantidad de variaciones naturales más o menos eficaces, pero todas ellas funcionales. En el caso humano, hay más de 250 variaciones, en el del conejo, menos estudiado, hay 4 conocidas. Y si prestamos atención a las variaciones naturales, veremos que tanto humanos como conejos presentan variación natural en los restos 53, 57, 77 y 113 alteraciones que

107 Se consideran equivalentes cuando no suponen un cambio en su naturaleza polar y por lo tanto su influencia en la conformación tridimensional es mínima.

108 Datos obtenidos de la comparación de las cadenas de HBB en humanos y en conejos con la herramienta de comparación de secuencias de www.uniprot.org.

coinciden con aminoácidos diferentes entre ambas especies¹⁰⁹.

VÍCTOR.- Pues más datos para mi punto de vista. La gran variación existente en la composición no altera la funcionalidad de la cadena.

EMILIO.- Desde tu óptica de considera la función de la hemoglobina como una propiedad emergente, tendrías razón. De hecho, es una argumento para ese enfoque. Pero si lo observas desde la idea de las propiedades promedio, no es así. Solo proteínas idénticas en medios iguales tienen funciones gemelas. Por ejemplo, siguiendo con la cadena β en el caso del hombre, hay una alteración en el resto 38, normalmente un triptófano, que puede ilustrar esta idea. Existen dos variaciones naturales para esta posición: en una de ellas, la llamada Rothschild, este triptófano está sustituido por una arginina, en la otra forma, la denominada Hirose, el cambio es por una serina. En ambos casos los efectos son significativos sobre la afinidad de la cadena por el oxígeno, disminuyéndola¹¹⁰ en el primer caso y aumentándola¹¹¹ en el segundo. Luego un cambio mínimo, pero cuantificable, da lugar a un cambio pequeño, pero también mensurable. Es más, podríamos afinar aún más el cambio, y localizarlo en el ARNm responsable de dicha secuencia de aminoácidos. El codón que codifica para el aminoácido triptófano es el triplete *UGG* mientras que el que codifica para arginina, su sustituto en la variante Rothschild, puede ser, entre otros, *AGG* o *CGG*, luego vemos que el cambio es menor aún, una simple sustitución de una base nitrogenada uracilo por una adenina o por una citosina. Si consideramos la similitud entre la citosina y el uracilo¹¹² es altamente probable que la secuencia alterada corresponda con *CGG*. Estos codones son, a su vez, transcripciones del ADN e implican una alteración del mismo. En el ADN, la secuencia complementaria de *UGG* será *ACC* y codificaría para triptófano, y la de *CGG* será *GCC* correspondiente a la arginina. Por lo tanto, la mutación es una sustitución de adenina por guanina que se diferencian exclusivamente por un cambio de posición de un grupo amino y la presencia de un átomo de oxígeno en la guanina inexistente en la adenina.

109 Comparación llevada a cabo usando los datos obtenidos de <http://www.uniprot.org/uniprot/P02057> para el conejo y <http://www.uniprot.org/uniprot/P68871> para el hombre. Última visita el 20/05/2014

110 http://web.expasy.org/variant_pages/VAR_002925.html. Última visita el 20/05/2014

111 http://web.expasy.org/variant_pages/VAR_002924.html. Última visita el 20/05/2014

112 Se trata de dos bases nitrogenadas pirimidínicas y la sustitución de una por otra es un error muy frecuente en la síntesis de proteínas.

Resumiendo, de la sustitución de una adenina por una guanina en el ADN y su complementario en el ARNm resulta un cambio del triptófano de la posición 38 de la cadena β de la hemoglobina humana lo que conlleva una rotación del tetrámero, «*un reajuste de la estructura cuaternaria y una deformación de la estructura terciaria de esta proteína*»¹¹³. Estos cambios afectan a la cooperatividad de la hemoglobina que cuenta con esta cadena, disminuyendo drásticamente su afinidad por el oxígeno¹¹⁴. Por si fuera poco la alteración provocada por tan pequeña variación, aparece un sitio de unión para el anión cloruro en la zona de contacto entre las cadenas α_1 y β_2 que implica una sensibilidad a la concentración de dicho anión que interfiere en la estabilidad de la molécula¹¹⁵.

VÍCTOR.- Dices «*por si fuera poco*» y «*aparece*», luego hablas de impredecibilidad y de novedad, de nuevo dos de las condiciones de emergencia que exponía Klee. Además, según lo que planteas, si la mutación del ADN hubiera sido otra que diera lugar a un codón sinónimo, el aminoácido resultante habría sido el mismo y de un cambio material, es decir, de un componente no se habría derivado ningún cambio funcional pues la estructura resultante habría sido la misma.

EMILIO.- Sobre esto precisamente estuve el otro día hablando¹¹⁶ con Álvaro Martínez del Pozo, catedrático de bioquímica de la Universidad Complutense de Madrid. En nuestra conversación salió a relucir la hipótesis de Cristian Anfinsen, quien en base a sus experimentos llevados a cabo desde los años 50, postuló que «*a cada cadena polipeptídica le corresponde una conformación concreta única y, además, toda la información necesaria para adoptarla está contenida en su secuencia de aminoácidos*»¹¹⁷. La base de esta hipótesis surgió de un experimento en el que tras desnaturalizar una muestra de ribonucleasa pancreática bovina, esta volvía a su conformación nativa simplemente retirando las condiciones desfavorables. Lo significativo del hecho es que esta proteína tienen ocho grupos *tiol* susceptibles de

113 [KAVANAUGH, ROGERS, CASE y ARNONE 1992], p 11

114 *Ibid*, p 11

115 *Ibid*, p 11

116 [MARTÍNEZ DEL POZO 2014]

117 Anfinsen citado por [MARTÍNEZ DEL POZO 2010], p 97

emparejarse de más de 100 formas diferentes, a pesar de lo cual, espontáneamente se unieron de la forma nativa¹¹⁸. Si consideramos solo la secuencia de aminoácidos, la hipótesis de Anfinsen da la razón a la relación unívoca de una secuencia → una estructura, pero si tenemos en cuenta la síntesis de proteínas desde la traducción del ARNm hasta la estructura proteica final, la existencia de codones sinónimos rompería esta univocidad.

VÍCTOR.- Precisamente de eso te hablaba. Siguiendo con la cadena β de la hemoglobina humana, existe una mutación en el resto 39 en el que se sustituye una treonina por una asparagina dando como consecuencia un aumento de la afinidad por el oxígeno. Ambos aminoácidos están codificados por varios codones sinónimos, en el caso de la treonina nativa, *ACU*, *ACC*, *ACA* y *ACG*, mientras que los de la asparagina mutante, son *AAU*, *AAC*. Resulta evidente el cambio de citosina por adenina en la segunda posición en alguno de los dos primeros codones. Por lo tanto, tenemos que de un cambio de composición se deriva un cambio de estructura. Pero si la alteración en el codón *ACU* fuera en la tercera posición el resultado sería sinónimo y la proteína resultante sería la misma a pesar del cambio de composición del ARNm y por lo tanto del ADN.

EMILIO.- Eso se había pensado hasta hace poco, pero hay indicios cada vez más claros de que no siempre es así. Como sabes, en la traducción de ARNm a proteína, existen RNAs de transferencia (ARNt) específicos para cada codón que portan y aportan el aminoácido correspondiente a la cadena proteica. En las células, no hay la misma cantidad de ARNts complementario de los codones más frecuentes que de los codones *raros* y hay evidencias de que esta escasez repercute en la cinética del plegamiento dando lugar a estructuras diferentes.

VÍCTOR.- Pero eso es más la influencia del entorno que la de la propia secuencia.

EMILIO.- No. Se debe a la interrelación entre el entorno y la molécula, siendo lo único que cambia la composición de la molécula. Si el ADN presenta su secuencia nativa y la síntesis de la proteína se da en su entorno nativo, la molécula resultante será de una determinada forma, siempre. Sin embargo, si el ADN presenta una mutación sinónima y

118 [MARTÍNEZ DEL POZO 2010], p 97

la traducción se da en el mismo entorno, la conformación final puede ser diferente¹¹⁹.

Antes de seguir con el entorno, quiero responderte a la alusión que has hecho antes a la nueva e impredecible sensibilidad al cloro de la hemoglobina β en su variante Rothschild. Ya hemos comentado que Klee¹²⁰ opinaba que estas dos condiciones no eran exclusivas de emergencia, pues eran explicables desde el micro-determinismo. Una forma de explicarlo es la de Pepper¹²¹ que directamente negaba la existencia de novedad real y tildaba a la cualidad observada de ser un epifenómeno de las características de los niveles inferiores, teóricamente deducible desde abajo, aunque poco probable e incluso imposible de llevar a cabo en la práctica. Pero yo añado otro argumento al de Pepper pues, además de la abrumadora cantidad de variables, ¿cómo discriminar desde abajo una propiedad que pueda resultar *llamativa* desde arriba?

VÍCTOR.- ¿A qué te refieres?

EMILIO.- Me explico. Solo cuando detectamos una *novedad* en el nivel macro nos preguntamos por ella y decidimos investigarla en el nivel micro, pero cuando desde arriba no detectamos ninguna variación no nos planteamos si algo ha cambiado en el nivel micro pero no ha tenido ninguna consecuencia destacable en el nivel superior. Por lo tanto, predecir desde abajo las propiedades que pueden resultar significativas en los niveles superiores será muy difícil, sino imposible. Sería como ensamblar un puzle en el que hay piezas repetidas sin saber cual es el resultado final, pues a pesar de no ser teóricamente imposible, es claramente más difícil que deshacer ese mismo rompecabezas en sus componentes y explicar el patrón de montaje. Esto podría parecer un caso de mecanismo «*no-holonómico*»¹²², es decir, aquel cuyo rango de estructuras reales existentes a partir de ciertos componentes es menor que el posible, o lo que es lo mismo, la tercera condición de emergencia de Klee, pero, en mi opinión, no es nada inexplicable desde las partes. Polanyi decía que los sistemas biológicos son inexplicables de acuerdo a la Física y la Química, precisamente por ser mecanismos

119 [MARTÍNEZ DEL POZO 2010], p 101

120 [KLEE 1984], p 49 y 51

121 [PEPPER 1926]

122 [GARCÍA CHICO 2007], p 18-19

físicos¹²³. Sin embargo, si la materia se rige por las leyes de la Física y la Química y los sistemas biológicos son materiales, ¿qué otra posibilidad existe?

VÍCTOR.- Claro, dicho así la única respuesta posible es el recurso a lo sobrenatural, al vitalismo. Pero supón que en un sistema formado por *A* y *B* surge una propiedad *C* inesperada y novedosa, incluso inexplicable en un análisis *upper-down*. Además, en un estudio *bottom-up*, resulta que de *A* y *B* se pueden obtener de forma equiprobable las propiedades *C* y *D*, de forma que la elección entre ambas sea indecible, a pesar de comprobar que de hecho se da una de ellas, ¿cómo la explicarías?

EMILIO.- Pues sospechando que me he dejado algo por analizar, lo que me lleva de nuevo a los sistemas y a la excesiva modelización que no considera el entorno como un conjunto de componentes más. Si volvemos a la hipótesis de Anfinsen podemos encontrar la respuesta. Lo que esta hipótesis plantea es una sencilla cláusula *ceteris paribus*, es decir, dada una secuencia de aminoácidos, si las condiciones del entorno son las mismas, el plegamiento será exactamente el mismo. La cuestión es que en un sistema vivo, que el entorno sea absolutamente idéntico es prácticamente imposible. Esa es la razón por la cual los resultados obtenidos en experimentación *in vitro* no son exactamente replicables *in vivo*. Y no hablo solo de la influencia del medio de disolución, del agua y de los electrolitos, cuyas variaciones son suficientes como para desnaturalizar una proteína, hablo de la multitud de moléculas que forman el medio interno celular y que dado en llamarse *macromolecular crowding*¹²⁴ o amontonamiento molecular. Me contaba Martínez del Pozo que la célula, y por extensión el organismo completo, es un trabado de moléculas¹²⁵ de forma que el disolvente es poco más que una capa situada entre moléculas. De ahí que se esté empezando a trabajar en simulaciones que emulan las condiciones de alta concentración¹²⁶ con el fin de acercar los resultados de laboratorio a los reales. La forma de representar las reacciones bioquímicas descritas en la obra de Bertalanffy¹²⁷, y que es la comúnmente usada, muestra a los componentes

123 [GARCÍA CHICO 2007], p 17

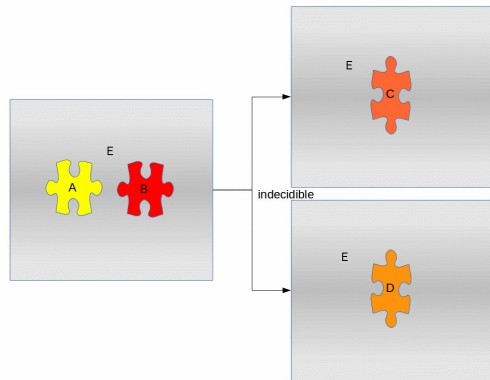
124 [MARTÍNEZ DEL POZO 2014]

125 *Ibid*

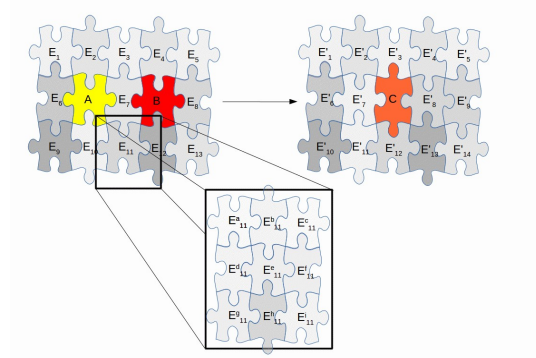
126 [HERVÁS y NAVARRO 2011]p, 89

127 [BERTALANFFY 1976], p 164

del sistema enlazados mediante flechas que implican relaciones, resulta verdaderamente útil, pero da la sensación de vacíos o espacios no intervinientes, cuando en realidad son tan componentes del sistema como los demás. Mira estos dos dibujos:



Img. 1: Reacción indecible al no considerar el entorno



Img. 2: Reacción que toma el entorno como parte.

En la primera situación, se considera un sistema formado por A y B en un entorno definido e invariable E para dar indecidiblemente C o D imbuidos en el mismo entorno. La novedad y la impredecibilidad harán recaer sobre la relación entre los componentes la emergencia de uno u otro resultado. Pero si consideramos el entorno, como un conjunto de moléculas o micro-entornos $\langle E_1, E_2, \dots, E_n \rangle$ en contacto directo e indirecto con A y B , el (complejo) estudio de las influencias entre todos ellos dará lugar inequívocamente a C rodeado de un nuevo conjunto de micro-entornos $\langle E'_1, E'_2, \dots, E'_n \rangle$. Hay novedad pero determinada por sus componentes, y en caso de no ser completamente predecible, las razones habrá que buscarlas en componentes no analizados. De esta manera, se puede considerar que parte o todo el entorno ejerce de «*restringidor no-holonómico*»¹²⁸ en el sentido en el que lo explicaba Simon, sin acudir a razones extra-materiales.

VÍCTOR.- Entonces Anfinsen no tenía razón, porque si de una misma cadena de aminoácidos pueden resultar proteínas diferentes en función del entorno, no parece que la función de la misma esté determinada por sus componentes. Aquí radica uno de los problemas de la Biología como ciencia, no se pueden establecer leyes, sino a lo sumo generalidades muy dependientes de las condiciones. La hipótesis de Anfinsen nunca

128 [GARCÍA CHICO 2007], p 19

será la Ley de Anfinsen.

EMILIO.- De nuevo discrepo de tu opinión. Piensa en una ley física cualquiera, por ejemplo la que dice que dos cuerpos caen a la misma velocidad independientemente de su masa. Si lo calculas sobre el papel, la ley se cumple, pero si lo llevas a cabo en la realidad, verás que hay que introducir la condición de que ambos objetos tengan el mismo rozamiento con el aire. Luego, no es una ley absoluta, por muy física que sea. En Biología pasa lo mismo, pero los entornos son tremendamente más complejos. Dos secuencias polipeptídicas idénticas obtenidas de forma artificial introducida en dos medios exactamente iguales se plegarán de la misma manera. Pero la realidad celular es más complicada que el aire por el que caen los dos objetos newtonianos. De entrada, una proteína en el medio celular no se pliega ella sola, sino que su conformación tridimensional depende, además del medio y de la disponibilidad de ARNts, del ribosoma y de proteínas plegadoras, como las chaperonas. Recuerda lo que decíamos de la hemoglobina Rothschild y su nuevo sitio de unión para el anión cloruro. El aminoácido mutante (material) produce un cambio tal que se produce un lugar en el que puede unirse un anión de un determinado tamaño y con una electronegatividad determinada. De existir ese átomo (material) y unirse a ese sitio producirá un cambio (material) en la hemoglobina que le conferirá otras cualidades que pueden ser mensurables a nivel macro, o no serlo, en cuyo caso pasarán desapercibidas para nosotros como observadores. Por lo tanto, la existencia de varios posibles sitios de unión hará que en función de la existencia de moléculas compatibles con esos sitios y su posterior unión, la proteína adquiera una conformación diferente y lleve a cabo una acción distinta. Cada vez se están descubriendo más proteínas que tienen esta forma de actuar. Álvaro¹²⁹ me dijo que se las llama, con acierto, *moonlighting proteins*, es decir, proteínas pluriempleadas. Parece que la función de estas proteínas varía según su ubicación, su estado de oligomerización, la concentración del ligando, el sustrato, el cofactor, el producto de la reacción, etc¹³⁰. Las funciones llevadas a cabo pueden ser tan diferentes como en el caso de la de la glutamato racemasa de *Escherichia coli*, que bien

129 [MARTÍNEZ DEL POZO 2014]

130 [CLAROS DÍAZ 2006]

forma parte de la construcción de la pared bacteriana, bien se comporta como un inhibidora de la ADN girasa¹³¹. En el momento en el que confluye la enzima con su sustrato confluyen dos cadenas causales, la de la proteína y la de la molécula con la que va a interaccionar. No podemos hacer predicciones sobre la relación conociendo solo una de ellas. Álvaro también me contó¹³², hablando sobre este tipo de proteína, que se ha propuesto que la teoría de la selección clonal de anticuerpos propuesta por Monod¹³³ sea llevado a cabo por proteínas de este tipo.

VÍCTOR.- Se me ocurre comparar lo que estás diciendo con el ejemplo, creo que de Polanyi¹³⁴, de que no podemos deducir un vocabulario a partir de la fonética.

EMILIO.- Desde el punto de vista del reduccionismo es, en teoría, posible. Otra cosa es que en la práctica resulta una labor inabarcable, por no decir inútil. La idea que subyace en el reto de Polanyi es la tercera marca de Klee, la restricción. Es decir, cómo voy a llegar a una situación concreta de entre una ingente cantidad de posibilidades sin saber dónde quiero llegar. Pero basta con añadir la perspectiva humana, y entiende que se trata de una condición sencilla de proponer, pero seguramente imposible de lograr.

VÍCTOR.- ¿A qué te refieres?

EMILIO.- Imagina que un robot dispone de una serie de ingredientes para preparar una comida que satisfaga a cierto comensal. Si no sabe nada sobre él, ni siquiera su especie, la probabilidad de que el plato le resulte apetitoso será bajísima. Eso mismo ocurre con los fonemas de Polanyi. Pero si tenemos información del comensal, especie, etnia, cultura, religión, las posibilidades de acertar con el plato aumentan. En el caso de los fonemas, no mezclaremos, por ejemplo, el fonema /ñ/ con el /t/ si estamos hablando de castellano. De poder conocer el sistema nervioso completo del comensal, incluida su sensibilidad y su percepción de los sabores, aromas, texturas, contrastes térmicos, etc, y la interferencia de estas sensaciones organolépticas con sus experiencias previas, tanto las físicas como las de otro tipo, podríamos preparar el plato que le resultase ideal. De igual manera, si conociéramos todo lo relativo a los hablantes como para poder

131 [SENGUPTA, GHOSH y NAGARAJA 2008], p 2796

132 [MARTÍNEZ DEL POZO 2014]

133 [MONOD 1987], p 123-124

134 [GARCÍA CHICO 2007] , p 24

determinar como eligen las combinaciones de fonemas para construir palabras, podríamos no solo descartar muchas sino, con un conocimiento absoluto propio de un demonio laplaciano, determinar el vocabulario exacto de una persona particular en un momento concreto. Cada factor de los señalados introduce una restricción, de forma que en cada caso concreto hay una única posibilidad.

VÍCTOR.- Imposible

EMILIO.- En la práctica, sí.

VÍCTOR.- Por cierto, has dicho hace un momento, al hablar de las proteínas pluriempleadas, que el producto de la reacción puede ser determinante de la reacción. A esto es a lo que refiere Klee cuando habla de la causación descendente¹³⁵ y es parte clave de la teoría general de sistemas. Me refiero a los ciclos de retroalimentación, tanto positiva como negativa. Por ejemplo, en la regulación hormonal de la glucemia, la secreción de la insulina o del glucagón depende de los niveles sanguíneos de la glucosa. Si la glucosa tiene valores altos, se segrega insulina que facilita la glucogenogénesis disminuyendo la glucemia, si tiene valores bajos, se segrega glucagón que facilita la gluconeogénesis aumentando la glucemia. Es decir, de la acción de la insulina depende la acción de la insulina. Esta característica de retro-control, la homeostasis, es una característica de la vida.

EMILIO.- Intenta no verlo como un ciclo, sino como una espiral, como una voluta. En el momento t_0 se da una situación en la que tenemos un sustrato S en un entorno $E^0 < E^0_1, E^0_2 \dots E^0_n >$ que será transformado por la acción de una enzima Z rindiendo en el momento t_1 el producto P en un entorno en $E^1 < E^1_1, E^1_2 \dots E^1_n >$. Supongamos que la enzima tiene un sitio de unión para P de manera que si éste se une, detiene su actividad. Si no hay limitación de S se producirá su transformación en P hasta que la concentración de éste sea tal que alguna molécula de las resultantes se una a la enzima deteniéndola. Si se va retirando P , la concentración disminuye hasta que se desbloquean las enzimas y la reacción se reinicia. Estoy hablando en término de concentraciones, es decir, de propiedades promedio, pero la explicación es la misma si hablamos desde la

135 [KLEE 1984] , p 48

perspectiva de una sola molécula. El caso es que P no produce un efecto en la situación que lo causa porque ésta ya no existe. La acción de inhibición la realiza sobre una nueva situación $t_2\{S, E^2 < E^2_1, E^2_2 \dots E^2_n >\}$ que a pesar de ser muy parecida, macroscópicamente indiferenciables, no son idénticos de forma absoluta. Por lo tanto, no hay causación descendente. En tu explicación no consideras en ningún momento el paso del tiempo, y creo que hay que tenerlo en cuenta. De esta forma, creo, que se podría resolver la cuarta de las consideraciones de emergencia explicitadas por Klee y que a su juicio era difícil de compatibilizar con el micro-determinismo. En el ejemplo que has puesto de la insulina y el glucagón, pasa lo mismo. El nivel de glucosa en sangre es un valor promedio y varía con el tiempo, pero en realidad, las intervenciones de las moléculas de insulina sobre la ruta de la glucogenogénesis del hígado son individuales y transcurren en el tiempo dando lugar a situaciones similares, pero posteriores. El retrocontrol es una cadena de volutas, no de ciclos. Este aspecto lo podemos extender a toda la homeostasis y es, además, extrapolable al origen de la vida y a la evolución. Pero no creo que sea el momento de entrar en este tema.

Tipos

VÍCTOR.- Por todo lo que me estás contando, veo claro que eres partidario de que todas las cosas están formadas por sus componentes, y que las propiedades de estas cosas dependen exclusivamente de las propiedades de sus partes y pueden explicarse desde ellas y desde su relaciones. ¿Sugieres acaso que debemos intentar una explicación reduccionista para todas las cosas e intentar explicar todos los niveles a partir de sus causas físicas últimas mediante una teoría exclusivamente física? ¿Eres partidario de la búsqueda de una sola ciencia que en términos de las partículas explique todas las propiedades de la materia hasta el punto de eliminar las formas explicativas de las otras ciencias?

EMILIO.- No, claro que no. A la hora de hablar de lo que es emergencia, me he centrado en las *marcas* con las que Klee la define, pero uno de los problemas que surgen a la hora de valorar las propiedades emergentes es la variedad de concepciones, y por lo tanto, la gran cantidad de tipos de emergencia que se describen en la abundante literatura. Por

ejemplo, Silberstein y McGeever¹³⁶ hacen un análisis acerca de si la emergencia es de naturaleza ontológica o puramente epistemológica decantándose por la primera de las dos opciones. En su análisis, aseveran que se puede hablar de propiedades epistemológicamente emergentes cuando son reducibles a las propiedades de sus partes pero resultan muy difíciles de explicar o de predecir a partir de ellas y por lo tanto, no suponen novedad más allá de la meramente descriptiva para el nivel adecuado¹³⁷. Por el contrario, sostienen que una propiedad es ontológicamente emergente cuando no resulta reducible a las de sus partes y poseen una causalidad no explicable desde sus partes subyacentes, ni siquiera desde las relaciones entre estas partes. Esta perspectiva es incompatible, evidentemente, con el reduccionismo clásico así como con la superveniencia mereológica de Kim¹³⁸. Para demostrar la implicación ontológica de la emergencia recurren a la mecánica cuántica, más específicamente al antiintuitivo fenómeno del entrelazamiento cuántico y a la resolución de la conocida como paradoja EPR¹³⁹. Este aparente problema, planteado por Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen en 1935, proponía la incompletitud de la mecánica cuántica por no poder explicar la vinculación a distancia de dos partículas que tras estar en contacto y separarse mantienen una relación que se manifiesta instantáneamente, independientemente de la distancia a la que se encuentran, algo, a priori, incompatible con el límite de la velocidad de la luz. Para Silberstein y McGeever hay dos explicaciones posibles, una es la existencia de la *no-localidad* y la otra es la existencia de un holismo que vincula las partículas¹⁴⁰. La cuestión es que la no-localidad es incompatible con la relatividad especial, y dado que esta es válida, la explicación más razonable es la existencia de una relación holística de todas las partículas del sistema¹⁴¹.

VÍCTOR.- Si no recuerdo mal, Einstein planteó la existencia de variables locales ocultas que completaran la mecánica cuántica y así explicaran el problema del entrelazamiento. De esa forma no habría que renunciar al determinismo y a la causación, tal como parece

136 [SILBERSTEIN y MCGEEVER 1999]

137 *Ibid*, p 186

138 *Ibid*, p 186

139 Siglas pertenecientes a Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen

140 [SILBERSTEIN y MCGEEVER 1999], p 187

141 *Ibid*, p 188

desprenderse de la interpretación de Copenhague. Pero John Bell demostró teóricamente la inexistencia de tales variables, sin descartar la existencia de variables no locales¹⁴². Sin embargo, hay otra posible interpretación de la ecuación de onda de Schrödinger, comatible con el teorema de Bell, pero que no obliga a abandonar el determinismo y la causalidad. Me refiero a la descoherencia¹⁴³, de la que hablamos al principio.

EMILIO.- Ciertamente, y de hecho Silberstein y McGeever reconocen la posibilidad de explicación determinista de la mecánica cuántica, pero dicen que requiere condiciones más fuertes y por lo tanto se decantan por la postura indeterminista¹⁴⁴ abrazando la existencia de una emergencia ontológica.

Continuando con los tipos de emergencia, Achim Stephan llega a una conclusión similar a la anterior, pero con diferentes subtipos en función del cumplimiento de determinadas condiciones. Partiendo de la naturaleza material de todo, es decir, de un monismo físico¹⁴⁵, denomina emergencia débil¹⁴⁶, de consideración epistemológica y compatible con el microrreduccionismo, a aquellas propiedades que presenta el sistema¹⁴⁷ pero no sus partes aunque dependen de éstas y de sus interacciones. Si a esta característica se le añade la condición de irreductibilidad¹⁴⁸, el emergentismo adquiere, como en Silberstein y McGeever, un compromiso ontológico. Si las propiedades analizadas implican, además, novedad¹⁴⁹, y/o impredecibilidad¹⁵⁰, las formas de emergencia adquieren fuerza, pero manteniéndose dentro de su grupo, recibiendo el adjetivo de diacrónica, la primera, y estructural, la segunda. Por lo tanto, en función de las combinaciones, obtiene seis tipos de emergencia, tres débiles y tres fuertes, que sirven para explicar, de forma fina, diferentes propiedades existentes. Así, por ejemplo, propone abordar las teorías de la autoorganización desde la forma más débil de emergencia, mientras que considera que el sempiterno problema de los *qualia* debe

142 [ATKINS 2003], p 266

143 *Ibid*, pp 268-269

144 [SILBERSTEIN y McGEEVER 1999], p 189

145 [STEPHAN 1999], p 50

146 *Ibid*, p 50

147 *Ibid*, p 50

148 *Ibid*, p 52

149 *Ibid*, p 53

150 *Ibid*, p 54

abordarse partiendo de una de las formas fuertes, es decir, aquellas que considera la irreductibilidad y que denomina emergencia sincrónica.¹⁵¹

VÍCTOR.- Es decir, que de nuevo la cuestión llega al problema de la irreductibilidad, lo que también le sirve a Cunningham para establecer la distinción entre emergencia ontológica y epistemológica. Para ello diferencia entre dos tipos de propiedades internas de un sistema, las microdeterminadas, cuando dependen de sus componentes, y las básicas, cuando no lo están¹⁵². Estas propiedades básicas pueden no microdeterminarse por dos razones, bien porque no tienen componentes internos, luego son componentes últimos y las propiedades son fundamentales ontológicas, bien porque aun teniéndolos, no pueden derivarse de ellos¹⁵³ y las propiedades entonces son emergentes ontológicas. Evidentemente, al dar por válida la existencia de ese principio, toda la jerarquía estructural de la materia, y de sus propiedades, se basa en la emergencia ontológica, y es por lo tanto reducible hasta cierto grado.

EMILIO.- La cuestión es determinar cuáles son esos sistemas que teniendo componentes no tienen propiedades básicas emergentes, respuesta que por lo general, como en Silberstein y McGeever, nos lleva a las partículas elementales y a la mecánica cuántica. Pero a esos niveles, las teorías que intentan explicar como es la realidad son en ocasiones contradictorias y están aun lejos de permitirnos elegir una de ellas como la que explica mejor la realidad. Simplemente el hecho de que se discuta si la materia existe como tal, conforme propone la mecánica cuántica no relativista o se trata de un epifenómeno resultante de fluctuaciones localizadas de los campos cuánticos¹⁵⁴ como afirma la mecánica cuántica de campos da pie a pensar en la dificultad de elegir el sistema básico al que se refiere Cunningham. Si como propone Art Hobson, damos por válida la interpretación de esta última teoría, las partículas no existen, pero sus características están claramente determinadas por las propiedades de los campos de las que emanan. Además, esta teoría explicaría las aparentes paradojas de la mecánica cuántica clásica, como la EPR que argumentan Silberstein y McGeever para defender su

151 [STEPHAN 1999]

152 [CUNNINGHAM 2001], p S65

153 *Ibid*, p S67

154 [HOBSON 2013], p 1

emergencia ontológica.

VÍCTOR.- Veo que no te has posicionado al respecto, aunque me parece evidente tu enfoque a la vista de la conversación. Pero antes de que lo hagas, quiero hablar, a fin de tener una perspectiva más, de un punto de vista conceptualmente diferente de propiedad emergente, el de Mario Bunge. El filósofo argentino, plantea otra concepción de emergencia, que si bien hace referencia a la relación de propiedades de los todos con respecto a las de sus partes, no es, según él mismo dice, «*la imposibilidad de comprender una totalidad a través del análisis de sus componentes y sus interacciones*»¹⁵⁵ idea más cercana a la superveniencia. Él llama emergentes a las propiedades que poseen las totalidades y que sus componentes no poseen¹⁵⁶. No dice que no procedan de sus componentes, sino que como tal, no las tienen. En este sentido, cada nivel tiene sus propias propiedades emergentes. Un organismo tiene propiedades de organismo que sus aparatos y sistemas no poseen. Estos a su vez, manifiestan características que sus órganos no muestran, a pesar de emanar de ellos y poderse explicar. Así, se puede llegar hasta donde nuestro conocimiento nos permita: tejidos, células, orgánulos, macromoléculas, moléculas, átomos, etc. Según esta definición, la emergencia es ontológica¹⁵⁷, no epistemológica, porque no tiene nada que ver con la posibilidad de explicar dichas propiedades desde las propiedades de sus componentes. «*La emergencia es sorprendente, pero no misteriosa: una vez se la ha explicado, la emergencia sigue siendo emergencia*».¹⁵⁸ Además, para Bunge emergen cosas, y estas tienen propiedades, algo que recrimina a la noción de superveniencia de Kim.¹⁵⁹ Por eso habla de propiedades emergentes ligadas a niveles reales de forma que no son acumulativas y por lo tanto de igual manera que emergen, se extinguen.¹⁶⁰ Esta propuesta ontológica de niveles con propiedades emergentes se acompaña de una epistemología que plantea cada nivel como cognoscible y como objeto de una ciencia,

155 [BUNGE 2004] p 19

156 *Ibid*, p 32

157 [BUNGE 2004], p 40

158 *Ibid*, p 40

159 *Ibid*, p 31

160 *Ibid*, p 35

que introduce nuevos conceptos para hacerse cargo de las emergentes propiedades.¹⁶¹ Estas ciencias estudian sus niveles pero resultan más esclarecedoras si lo hacen investigando en los niveles adyacentes,¹⁶² y por ello, su metodología debe plantearse en ese sentido.¹⁶³ Por ejemplo, la célula es una entidad nueva que posee vida, pero sus componentes directos, los orgánulos, no presentan dicha propiedad, luego la vida es una propiedad emergente. Así, la citología será la ciencia que se dedique al estudio de la célula y para ello podrá investigar relaciones de causación y de consecuencia en niveles inferiores y superiores.

EMILIO.- Estoy en gran medida de acuerdo con la propuesta de Bunge, solo que utiliza una definición de emergencia tan diferente de la que venimos manejando que bien se merecería otro nombre. Pero creo que deja en el aire el problema de la explicación de las propiedades que el otro punto de vista también llama emergentes. Es decir, ¿son explicables desde sus componentes y sus relaciones o por el contrario no lo son? De ahí que recurra a la explicación sistémica de los niveles como alternativa a otros enfoques como el holista o macrorreduccionista y al individualista o microrreduccionista¹⁶⁴. Bunge ve estos niveles de organización como sistemas en los que observa cuatro componentes, composición o colección de partes, entorno o conjunto de partes ajenos al sistema pero que interaccionan con éste, estructura o relaciones y mecanismo o procesos que la aportan sus características definitorias.¹⁶⁵ Bunge lo llama modelo CESM, por sus iniciales¹⁶⁶. En el caso, por ejemplo, de un sistema vivo¹⁶⁷ me parece importante la definición del límite entre la composición y el entorno, pues se asemeja a las condiciones de contorno de Pattee o Rosen de las que hablamos anteriormente, y que situarían la perspectiva de Bunge dentro de una emergencia en el sentido de la no explicación de las propiedades a partir de solamente sus componentes. Bunge explica

161 [LAW WHYTE, WILSON y WILSON 1973]

162 *Ibid*, p 40

163 *Ibid*, p 42-43

164 [BUNGE 2004], p 61

165 *Ibid*, p 56

166 *Ibid*, p 55

167 *Ibid*, p 69

desde el mismo enfoque sistémico otras cuestiones como la mente¹⁶⁸ o el lenguaje.¹⁶⁹

VÍCTOR.- Entonces, ¿qué opinión tienes al respecto?

EMILIO.- En mi opinión, debe haber un doble enfoque a la hora de valorar la existencia de propiedades emergentes como explicables desde sus componentes. Por una parte, analizar si verdaderamente existen y por otra si resulta práctico considerar su existencia desde el punto de vista explicativo. Sin embargo, si consideramos indecible si la realidad está formada por partículas o por campos, no podemos llegar a los componentes últimos de la realidad, por lo que hablar de cual es el sistema básico, en el sentido de Cunningham¹⁷⁰, puede resultar especulativo. No obstante, al existir una explicación determinista para ambas teorías cuánticas, la no relativista y la de campos, me inclino a pesar en la inexistencia de propiedades emergentes ontológicas, aunque soy consciente de que esto puede interpretarse como hace Mark Bickhard y proponer que todo es emergente porque solo existen procesos y por lo tanto no existe diferencia entre niveles macro y micro.¹⁷¹

Dicho esto, del hecho de que todas las propiedades se puedan explicar a partir de sus componentes, no se sigue que seamos capaces de hacerlo, por lo que considerar que ciertas propiedades emergen, en el sentido de que están debajo y afloran, desde sus elementos componentes, puede resultar práctico. Es decir soy partidario de la consideración de una emergencia epistemológica con una finalidad heurística, no solo como «*un mero artefacto de un modelo particular o formalismo generado por el análisis macroscópico, descripción funcional o cualquier otro tipo de explicación o descripción de ato nivel*».¹⁷² Este pragmatismo es compatible con el uso de modelizaciones siguiendo la teoría de sistemas, pero teniendo en cuenta que el propio hecho de tratarlo como un sistema es ya una modelización pues implica, entre otras cosas, establecer unos límites entre los componentes del mismo y el entorno.

VÍCTOR.- ¿Te refieres a cierto aspecto de la condición de intrasistémico o extrasistémico

168 [BUNGE 2004], p 42

169 *Ibid*, p 87

170 [CUNNINGHAM 2001], p S65

171 [BICKHARD y CAMPBELL 2000]

172 [SILBERSTEIN y McGEEVER 1999], p 182

que hemos dejado en el aire hace un rato hablando de Wimsatt?¹⁷³

EMILIO.- A eso mismo. Imagina una célula desde dos perspectivas diferentes. En la primera, vamos a describirla como un sistema completo formado por diversos componentes. En la segunda, vamos a verla como un componente de un órgano. En ambos casos la célula es la misma, si bien la tomamos como una caja blanca o como una caja negra. Sin embargo, en las dos situaciones nuestra consideración tiene un aspecto común, la determinación de la membrana plasmática como delimitación. A priori, una membrana es un límite claro y conciso, pero si nos acercamos lo suficiente veremos que la claridad se difumina de la misma manera que los límites de la Tierra se hacen vagos al ir disminuyendo la atmósfera. Centrándonos en el primer enfoque, el de la célula completa como un sistema, vemos que la membrana es difusa en cuanto a estructura. Resulta evidente la definición de la bicapa lipídica que sirve de base a la membrana, pero lo que no es tan evidente es la concreción de los límites del glucocalix¹⁷⁴, cuyas cadenas se proyectan hacia la matriz extracelular confundiéndose con ella y resultando *«una cuestión semántica el delimitar dónde termina la membrana plasmática y donde empieza la matriz extracelular»*¹⁷⁵ Del hecho de considerarla interna o externa al sistema depende la composición de esta y la consideración de entorno, y de ahí la relación de las partes y por lo tanto, las propiedades de la célula como sistema. En el dibujo que te mostré hace un momento hablando de la composición del entorno¹⁷⁶, se puede ver a que me refiero con el aspecto difuso de los límites. La selección de los límites es arbitraria y debe hacerse desde una perspectiva práctica, pero asumiendo la simplificación, y por lo tanto, el error. Esta asunción nos lleva a no considerar en el modelo aspectos que influyen en el resultado de manera que en ocasiones ciertas propiedades no podemos relacionarlas exactamente con las de sus componentes (al no haberlos incluido) y se nos presentan como emergentes. Así, al modelizar la célula

173 Ver página 37 de este mismo trabajo

174 Esta estructura, también llamado membrana de secreción, es un conjunto de oligosacáridos unidos a los lípidos de membrana y a las proteínas extra o transmembranales con funciones relacionadas con el reconocimiento celular. En células vegetales forma la pared vegetal y en procariotas, la pared bacteriana.

175 [ALBERTS et al. 1987], p 300

176 Ver imagen 2 de la página 51

como un sistema, por ejemplo un eritrocito, elegiré ciertos componentes y cierto entorno analizando como están estructurados y cuales son sus procesos (modelo CESM de Bunge) y de la elección dependerán los resultados. Pero si la estudio como componente de un tejido, por ejemplo sanguíneo, la consideraré como una caja negra y solo tendré en cuenta su balance energético y material para con el nuevo todo. Sin embargo, en mi modelización, me interesarán exclusivamente ciertas entradas y salidas, las relacionadas con el tejido en cuestión, en nuestro ejemplo, el transporte de oxígeno. Así, al hablar de la oxigenación de la sangre, hablo de una propiedad promedio del tejido, que a su vez promedia los valores de oxígeno de los glóbulos rojos, que a su vez promedian los de cada hemoglobina. Evidentemente resulta práctico, pero estarás conmigo en que en la modelización por niveles se pierde fidelidad y se asumen pérdidas. Creo que en esas pérdidas conocidas y de otras ignoradas está la clave de la emergencia. La prueba es que conforme mejoramos el modelo, introduciendo otra variable, o una nueva relación entre variables, el resultado se afina.

Asumiendo esto, la división del estudio de la realidad en niveles de organización tratados cada uno de ellos como sistemas debe ser la forma de estructurar el conocimiento. A partir de aquí, hay dos consideraciones que hacer. Una, aceptar que cada componente del sistema es a su vez un sistema que debemos estudiar como una caja blanca a fin de que el balance con respecto al sistema del que es elemento sea lo más fino posible y que el error acumulado por la modelización sea mínimo. Dos, entender que este sistema es a su vez un componente de otro sistema que lo engloba, por lo que hay que intentar entender la relación del sistema base con otros de su mismo nivel y cual es su participación en el global. Por lo tanto, un nivel intermedio tiene subniveles y supraniveles, los cuales tienen a su vez subniveles y supraniveles de segundo orden. Así, partiendo de su nivel, cada ciencia debe indagar hacia abajo en busca de causas y hacia arriba tras las consecuencias.

VÍCTOR.- Pero sin perder de vista la explicación del propio nivel.

EMILIO.- A eso me iba a referir. Como la finalidad es explicar un nivel, la indagación por encima y por debajo debe enfocarse a resultados prácticos. Cuando una ciencia estudia

sus subsistemas se solapa con la ciencia que toma ese subsistema como sistema propio. Como ambas comparten objetos de estudio, es relativamente fácil que se entiendan, y que las explicaciones de una sirvan para completar, e incluso exponer a la otra. Pensemos en tres ciencias C^A , C^B y C^C que estudian tres niveles de organización consecutivos n_1 , n_0 y n_{-1} pero que también indagan en los niveles previo y posterior. Así C^A tendrá el nivel n_1 como propio, pero se extenderá al nivel inferior n_0 y al superior n_2 , C^B estudiará el nivel n_0 y el n_{-1} por debajo y el n_1 por arriba mientras que C^C se centrará en n_{-1} y en su subnivel n_{-2} y su supranivel n_0 . Como puede apreciarse, las tres ciencias solapan sus niveles de estudio que se encuentran relacionados. Sin embargo, cuando intentamos razonar un nivel en función de otro bastante separado, la potencia explicativa se diluye, y no resulta comprensible, a no ser que hagamos traducciones.

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & & & C_0^A & \leftarrow & C_1^A & \rightarrow & C_2^A \\
 & & & & & & & & \\
 & & & & & & C_{-1}^B & \leftarrow & C_0^B & \rightarrow & C_1^B \\
 & & & & & & & & & & \\
 C_{-2}^C & \leftarrow & C_{-1}^C & \rightarrow & C_0^C & & & & & &
 \end{array}$$

Img. 3: Solapamiento del estudio de los niveles de organización

Piensa, por ejemplo, en los niveles que sugiere Bunge¹⁷⁷ en el estudio de la vida, molecular, celular, de sistemas, orgánico, de poblaciones y ecología. Según esta perspectiva de niveles anidados, se podría explicar la ecología desde una análisis molecular, pero no resulta ni útil ni explicativo. Creo que a pesar de la posibilidad de hacer esta reducción absoluta, cada nivel hay que explicarlo en función de sus propias características apoyándose en las de su o sus subniveles cercanos, pero sin alejarse tanto que haya que cambiar el lenguaje propio.

VÍCTOR.- ¿Se podría decir que eres partidario de la inexistencia real de propiedades emergentes, pero que abogas por su uso debido a la finalidad explicativa de la ciencia?

EMILIO.- Si, pero sin renunciar a indagar en los niveles inferiores de manera que, a pesar de su poca capacidad explicativa, pudiéramos establecer una relación de causación absoluta entre los más altos niveles de organización y los más bajos. Soy consciente de

177 [BUNGE 2004], p 67

que se trata de una labor titánica, y que muy probablemente, sea una investigación que se acerque asintóticamente a un límite, bien epistemológico, porque nuestra capacidad no sea suficiente para superar la complejidad subyacente, bien ontológico porque a nivel cuántico haya un verdadero límite. De lo contrario, nos podría pasar como en la broma que plantea Richard Dawkins en el «*Cuento del antepasado*» cuando imagina una conversación entre *Sir Andrew Huxley* y *Sir Alan Hodgkin* al intentar describir el mecanismo molecular del impulso nervioso¹⁷⁸

- Le digo, Huxley, que es un problema difícilísimo. No entiendo como funciona el impulso nervioso, ¿y usted?

- Yo tampoco, Hodgkin, y estas ecuaciones diferenciales son prácticamente imposibles de resolver. ¿Por qué no desistimos y decimos que el impulso nervioso se propaga por energía nerviosa?

- Me parece una idea excelente, Huxley. Vamos a escribir corriendo una carta a *Nature*, bastará con un renglón. Después nos ocuparemos de algo mas fácil.

Añadiría, que esta desconexión entre niveles, y la utilidad del uso de propiedades emergentes, es mayor conforme aumenta la complejidad. De ahí que asumamos con facilidad explicaciones físico-químicas de procesos celulares, pero no hagamos lo mismo cuando lo que se relaciona es, por ejemplo, un comportamiento antisocial con la interacción entre la oxitocina y sus receptores.¹⁷⁹

VÍCTOR.- Bueno, creo que por hoy hemos tenido bastante, ahora toca pensar en al conversación y aclarar ideas.

EMILIO.- Tienes razón, yo por lo menos, ahora en cuanto llegue a casa, voy a intentar escribir un resumen de la conversación para que los detalles no caigan en el olvido.

Conclusión

Antes de iniciar el apartado de las conclusiones, quisiera hacer un breve inciso acerca de la elección del diálogo como forma de desarrollar el presente trabajo. Sócrates¹⁸⁰ pensaba de la dialéctica que era la forma de buscar la verdad, no la búsqueda de la

178 [DAWKINS 2005], p 724

179 [CUARTAS ARIAS y LÓPEZ JARAMILLO 2013], p 109

180 [VEGA REÑÓN y OLMOS GÓMEZ 2012], p 195

victoria en la disputa y por lo tanto, a pesar de que el diálogo se plantea como la confrontación de dos puntos de vista diferentes, la pretensión del trabajo no es tanto conseguir el cambio del punto de vista de uno de los partícipes, en este caso VÍCTOR, sino la obtención de beneficios¹⁸¹ para ambos contendientes aumentando el conocimiento en general y logrando una suerte de armonía y consenso entre ambos enfoques. Podría encuadrarse dentro del subtipo de argumentación que Walton¹⁸² denomina *negociación*, aunque sin perder de vista el enfoque investigador. La ausencia, al menos intencionada, de estratagemas para inclinar la balanza hacia uno u otro lado es prueba de esta intención, aunque queda claro que el punto de vista que defiende EMILIO es el que conduce la conversación, no por nada le doy mi nombre al personaje.

La cuestión gira en torno al concepto de propiedad emergente entendida como aquella propiedad de un todo que no puede deducirse del estudio de sus partes, y por lo tanto en torno a la posibilidad de reducción de una propiedad a otras más básicas. Tras el abandono del vitalismo en el primer cuarto del siglo XX, una nueva corriente se instaura, sobre todo en Gran Bretaña, de la mano, entre otros, de Alexander, Lovejoy y Broad quienes argumentan a favor de cierto *algo más* que no podría ser detectado, ni predicho ni siquiera por un demonio laplaciano. De estas propiedades, que para Alexander no tienen explicación¹⁸³, Lovejoy dice¹⁸⁴ que son características de ciertos niveles de complejidad, no se dan en las partes y ni son deducibles de ellas, y Broad añade la importancia de la estructura¹⁸⁵ por encima de los componentes. Por otra parte, Pepper plantea la existencia de ciertas *marcas* que, de existir, determinan si nos encontramos ante propiedades emergentes o meros epifenómenos. Klee se centra en la búsqueda y análisis de estas *marcas* conformando las cuatro condiciones de emergencia, impredecibilidad, novedad, restricción y causación descendente, que han servido de eje de la presente investigación. Las dos primeras, como el propio Klee argumenta, sirven para explicar ambos puntos de vista, o lo que es lo mismo, no son razón suficiente para

181 Jesús Alcolea en la entrada *Diálogo* en [VEGA REÑÓN y OLMOS GÓMEZ 2012], p 202

182 *Ibid*, p 202-203

183 Ver nota 45

184 Ver nota 47

185 Ver nota 50

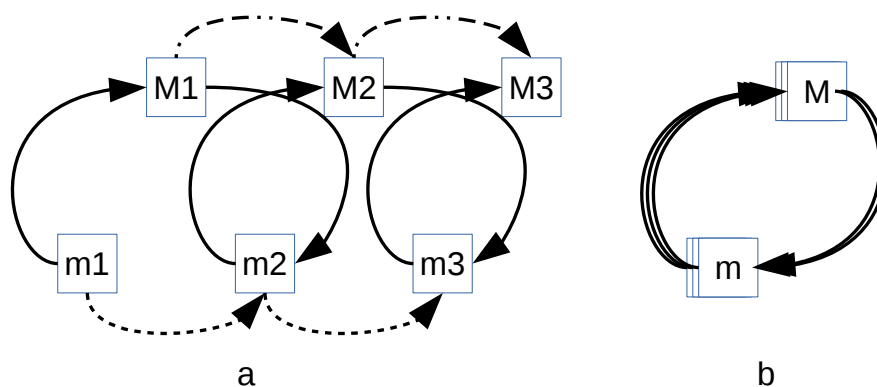
ninguno de los dos enfoques. De un lado, la impredecibilidad, puede responder a varias razones, siendo la ignorancia, de componentes o de relaciones, posiblemente el más utilizado, pero también, como he mostrado en el diálogo, porque a pesar de que pudiéramos predecir cierta propiedad, podríamos no ser conscientes de su existencia, bien porque en función de nuestros sentidos no la percibamos, bien porque no podamos acceder al nivel al que se manifieste. El aumento del conocimiento a lo largo de la historia de la ciencia, ha mostrado que ciertas propiedades impredecibles, como algunas del agua que describe Broad¹⁸⁶, han resultado predecibles, por lo que la carga de la prueba debe recaer en los que lo argumentan como *marca* de la emergencia. Del otro, la novedad, tampoco parece poderse asignar únicamente a la propuesta emergente ni a la reduccionista. Esta supuesta novedad podría ser simplemente una regularidad como-ley, como afirma Kekes, un simple epifenómeno, como afirma Pepper o una percepción en función del nivel de observación pudiendo denominarlas como propiedades de nivel.

La tercera marca propuesta es la restricción existente entre el nivel micro y el macro, algo que puede relacionarse con cierto control del nivel superior sobre el inferior. Klee la rebate acudiendo a la superveniencia de Kim, quien relaciona familias de propiedades micro con familias de propiedades macro sin posibilidad de establecer una relación unívoca entre ellas, pero que nacen de ellas. Sin embargo, en mi opinión, este argumento es reversible y sirve, de nuevo, para justificar ambos enfoques. Pero esta restricción puede proceder simplemente del estudio de los niveles mediante la teoría de sistemas. La simplificación introducida al modelizar gradientes de concentraciones en lugar de moléculas concretas, y el diferente grado de percepción en los distintos niveles puede ser la fuente de restricciones. Las 250 diferentes moléculas a las que llamamos hemoglobina porque cumplen la *misma función* lo ejemplifican, a mi juicio, perfectamente.

La causación descendente, es decir, la influencia causal del nivel macro en el micro es la última *marca* analizada por Klee y en su opinión la más difícil de rebatir. Para hacerlo se centra en los enfoques de Sperry, y su influencia de la mente en los estados

186 Ver nota 52

cerebrales, y el de Campbell, y la determinación que el ecosistema hace sobre la selección natural. En ambos casos, los todos influyen en las partes, pero la argumentación de Klee no se centra en este aspecto común, sino en puntos particulares. En mi opinión, el problema de la causación descendente no es tal si dejamos de visualizar el problema como ciclos de retroalimentación y lo observamos a lo largo del tiempo, es decir, como volutas de avance temporal. De esta manera, observando en los niveles inferiores, la disposición de los elementos componentes $m1$, incluyendo los del entorno, determinan otra disposición posterior $m2$. A nivel superior, un primer estado macro $M1$ determina el estado posterior $M2$. Si mezclamos los niveles, parece que el estado macro $M2$ influye sobre la primera disposición de elementos $m1$, dando lugar a un clásico ciclo de retroalimentación de la teoría de sistemas. Pero en realidad, las secuencias no son cíclicas, sino lineales. Así, $m1 \rightarrow m2 \rightarrow m3 \dots$ y $M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3 \dots$ pero al solapar los niveles y analizarlo como ciclos, se eliminan las referencias temporales y lo consideramos como $m \rightarrow M \rightarrow m \rightarrow M \dots$ de donde surge la apariencia de causación descendente.



Img. 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. Las líneas discontinuas muestran la relación causal dentro del mismo nivel

Por lo tanto, ni la impredecibilidad, ni la novedad, ni la restricción, ni la causación descendente son argumentos determinantes para afirmar la existencia de propiedades inexplicables desde sus elementos componentes y las relaciones entre ellos.

Sin embargo, Silberstein y McGeever, entre otros, proponen la existencia de estas propiedades emergentes con consideración ontológica basándose en la indeterminación cuántica, y para ello argumentan la paradoja EPR con base en el entrelazamiento cuántico y su resolución mediante el teorema de Bell de manera que *eligen* un holismo en lugar del fenómeno de la no-localidad. Pero la posibilidad de resolver esta indeterminación mediante la decoherencia solo deja pensar en su posibilidad como eso, como una opción más, pero no la única. La clasificación que hace Stephan de los tipos de emergencia es similar, aunque más detallada, a la de Silberstein y McGeever, es decir, distingue entre una emergencia ontológica y otra epistemológica, siendo el peso que inclina la balanza la misma que antes, la irreductibilidad. Cunningham habla de sistemas básicos, con componentes pero sin posibilidad de derivar sus propiedades de ellos, lo que supone una vuelta a los límites de la indeterminación cuántica, límites en los que la física aún no ha llegado a una teoría unificada, dudando entre la mecánica cuántica no relativista o la teoría cuántica de campos, para la cual no existe la materia, sino que son fluctuaciones de los campos, y tienen su origen en ellos. Las soluciones pasan por concretar el nivel básico, cuerdas, branas, quarks... o partir de la materia elemental, pero se trata de una situación indecidible.

Bunge opta por una diferente definición de emergencia, en referencia a la emergencia de cosas cuyas propiedades como tales, no se encuentran en sus componentes. Propiedades que emergen o se extinguen conforme nos movemos por los niveles de organización. Sin embargo, deja en el aire posible reducción o deducción de estas propiedades del todo a partir de las propiedades de las partes.

En mi opinión, hay que considerar la utilidad de las llamadas propiedades emergentes, de cuya ontología no se puede afirmar nada de forma definitiva, pero de cuya base epistemológica no se puede dudar, pues la incertidumbre, no el azar, es evidente a la vista de nuestras limitaciones y de la extrema complejidad de la materia, sobre todo la que forma parte de la vida. El uso de los niveles, sean o no reales, resulta de una utilidad incuestionable, tanto para la capacidad explicativa, como para la utilidad práctica. Sin embargo, no debemos renunciar a la indagación de las causas, nivel por nivel, aunque

nos movamos asintóticamente hacia un límite, sea el que sea.

Bibliografía

Bruce ALBERTS, Dennis BRAY, Julian LEWIS, Martin RAFF et col.. *Biología molecular de la célula*. Ediciones Omega, Barcelona. 1987.

Luis C. ÁLVARO-GONZÁLEZ. *Neuroética (I): circuitos morales en el cerebro normal*. in: Revista de Neurología, 58, 5, 2014. pp, 225-233.

Peter ATKINS. *El dedo de Galileo. Las diez grandes ideas de la ciencia*. Espasa Calpe, Madrid. 2003.

Ludwig von BERTALANFFY. *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica, Madrid. 1976.

Mark H BICKHARD y Donald T. CAMPBELL. *Emergence*. In P. B. Andersen, C. Emmeche, N. O. Finnemann, P. V. Christiansen (Eds.) Downward Causation. University of Aarhus Press. (Disponible en <http://www.lehigh.edu/~mhb0/Emergence27Jul97.pdf>), Aarhus, Denmark.: 2000.

Charlie D. BROAD. *The Mind and Its Place in Nature*. Routledge and Kegan Pau, London. First edition. <http://www.ditext.com/broad/mpn/mpn.html>: 1925.

Mario BUNGE. *Emergencia y convergencia*. Gedisa editorial, Barcelona. 2004.

Emilio CÁCERES VÁZQUEZ. *Ciencias de la Tierra y Medioambientales*. Editorial CEP, Madrid. 2011.

Richard J. CAMPBELL y Mark H. BICKHARD. *Physicalism, emergence and downward causation*. in: *Axiomathes* (disponible en <http://www.lehigh.edu/~mhb0/physicalemergence.pdf>), nº 21, 2011. pp. 33-56.

M. Gonzalo CLAROS DÍAZ. *Vocabulario inglés-español de bioquímica y biología molecular*. <http://www.biorom.uma.es/contenido/Glosario/>. 2006.

Javier CORZO. *Apuntes de bioquímica. Bioquímica 2º Curso de Biología*. in: <http://sebbm.es/BioROM/contenido/JCorzo/temascompletos/InteraccionesNC/inicio.ht>

m, Visitada por última vez el 19/05/2014, 2005.

Jorge Mauricio CUARTAS ARIAS y Carlos Alberto LÓPEZ JARAMILLO. *Probables interacciones entre el receptor de oxitocina (OXTR) y genes candidatos asociados a la psicopatía*. in: International Journal Of Psychological Research, 6. Special Issue, 2013. pp, 109-116.

Bryon CUNNINGHAM. *The Reemergence of 'Emergence*. in: Philosophy of Science, 68, 2001. pp. S62-S75.

Charles DARWIN. *El origen del hombre. Volumen II*. Edimat Libros, Madrid. 2009.

Richard DAWKINS. *El cuento del antepasado*. Antonio Bosch, Barcelona. 2005.

Clauss EMMECHE, Simo KÖPPE y Frederik STJERNFELT. *Explaining Emergence: Towards an Ontology of Levels*. in: Journal for General Philosophy of Science, 28, 1997. pp. 83–119.

Arantza ETXEBARRÍA y Jon UMEREZ. *Organismo y organización en la Biología Teórica: ¿Vuelta al organicismo?*. in: Ludus vitalis, XIV, 14, 2006. pp, 3-38.

George GAMOW. *La creación del universo*. RBA Editores, Barcelona. 1993.

Ruth GARCÍA CHICO. *Michael Simon y Alexander Rosenberg: Dos Perspectivas Actuales sobre el Problema de la Reducción en Filosofía de la Biología*. 2007.

Fielding H. GARRISON. *Historia de la medicina. Tomo II*. Calpe, Madrid. 1922.

Jeffrey GOLDSTEIN. *Life's Irreducible Structure*. in: E:CO Issue, Vol. 14, No. 4, 2012. pp. 139-153.

Manuel HERVÁS y José A NAVARRO. *Transferencia electrónica al fotosistema I: in vivo versus in vitro*. Actas del XXXIV Congreso SEBBM, 2011.

Art HOBSON. *There are no particles, there are only fields*. in: American Journal of Physics, 81, arXiv:1204.4616 [physics.hist-ph], 2013.

J. S KAVANAUGH, P.H. ROGERS, D.A. CASE y A. ARNONE. *High-resolution X-ray study of deoxyhemoglobin Rothschild 37 beta Trp----Arg: a mutation that creates an*

- intersubunit chloride-binding site*. in: *Biochemistry*, 31(16), 1992. pp, 4111-21.
- John KEKES. *Physicalism, The identity theory and the doctrine of emergence*. in: *Philosophy of Science*, 33, 1966. pp, 360-375.
- Jaegwon KIM. *Supervenience and nomological incommensurables*. in: *American Philosophical Quarterly*, 15, 1978. pp, 149-156.
- Robert KLEE. *Micro-Determinism and Concepts of Emergence*. in: *Philosophy of Science*, Vol 51, 1984. pp. 44-63.
- Lancelot LAW WHYTE, Albert G. WILSON y Donna WILSON. *Las estructuras jerárquicas. Actas del Simposio celebrado los días 18-19 de noviembre de 1968 en los Douglas Advanced Research Laboratories, Huntington Beach. California*. Alianza Universidad, Madrid. 1973.
- Albert L. LEHNINGER. *Bioquímica*. Ediciones Omega, Barcelona. 1985.
- James LOVELOCK. *Las edades de Gaia*. Tusquets editores, Barcelona. 1993.
- Álvaro MARTÍNEZ DEL POZO. *Comunicación personal*. Catedrático de bioquímica de la Facultad de Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, 2014.
- Álvaro MARTÍNEZ DEL POZO. *¿Estaba Christian Anfinsen en lo cierto?*. in: *Anales de Química*. Real Sociedad Española de Química, Vol 106(2), 2010. pp, 96-103.
- Humberto MATURANA y Francisco VARELA. *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Editorial Lumen, Buenos Aires. 2ª Edición: 2004.
- Ernst MAYR. *Por qué es única la biología*. Katz editores, 2006.
- Ernst MAYR. *Así es la biología*. Editorial Debate, Barcelona. 2005.
- Brian MCLAUGHLIN y Karen BENNETT. *Supervenience*. in: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring Edition)*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/supervenience/>>., 2014.
- Jacques MONOD. *El azar y la necesidad*. Ediciones Orbis, Barcelona. 1987.

Timothy O'CONNOR. *Emergent Properties*. in: American Philosophical Quarterly, nº 31, 1994. pp. 91-104.

Timothy O'CONNOR. *Emergent Properties*. in: in Edward N. Zalta (ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Winter 2002 Edition. URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/win2002/entries/properties-emergent/>>, 2002.

Jeong-Hyuck PARK. *How many is different? Answer from ideal Bose gas*. in: Journal of Physics., arXiv:1310.5580, 2013.

Howard H. PATTEE. *Cell Psychology: An Evolutionary Approach to the Symbol-Matter Problem*. in: Cognition and brain theory, 5(4), 1982. pp, 325-34.

Stephen C. PEPPER. *Emergence*. in: Journal of Philosophy, 23, 1926. pp, 241-245..

Michael POLANYI. *Life's Irreducible Structure*. in: Science,, New Series, 160, 3834, 1968. pp, 1308-1312.

Robert ROSEN. *Anticipatory Systems*. Oxford: Pergamon Press, 1985.

Sugopa SENGUPTA, Soumitra GHOSH y Valakunja NAGARAJA. *Moonlighting function of glutamate racemase from Mycobacterium tuberculosis: racemization and DNA gyrase inhibition are two independent activities of the enzyme*. in: Microbiology, vol. 154, no. 9, 2008. pp, 2796-2803.

Michael SILBERSTEIN y John McGEEVER. *The Search for Ontological Emergence*. in: The Philosophical Quarterly, Vol, 49, nº 195, 1999. pp. 182-200.

Achim STEPHAN. *Varieties of Emergentism*. in: Evolution and Cognition, Vol. 5, nº 1, 1999.

Cristina TEJEDOR. *Bioquímica*. in: Apuntes de bioquímica de la facultad de farmacia de la Universidad de Alcalá. Disponibles en <http://www2.uah.es/sancho/farmacia/>, 2012.

Luis VEGA REÑÓN y Paula OLMOS GÓMEZ. *Compendio de lógica, argumentación y retórica*. Editorial Trotta, Madrid. 2ª edición: 2012.

William C. WIMSATT. *Aggregativity: Reductive Heuristics for Finding Emergence*. in: *Philosophy of Science*, 64 (2), 1997. pp. S372-S384.

William C. WIMSATT. *Emergence as Non-Aggregativity and the Biases of Reductionism*. in: *Foundations of Science*, Vol. 5, Issue 3, 2000. pp 269-297.

William C. WIMSATT. *Reductionism and its heuristics: Making methodological reductionism honest*. in: *Synthese*, 151(3), 2006. pp. 445-475.