

11. El cerebro como estructura disipativa

La aplicación de la teoría de la estructura disipativa al funcionamiento del cerebro

Contents

- [¿Qué es una estructura disipativa?](#)
 - [La termodinámica de la vida](#)
 - [Relación conceptual entre sistema y estructura disipativa](#)
 - [Células como estructuras disipativas](#)
 - [Seres vivos como estructuras disipativas](#)
 - [Cerebro como estructura disipativa](#)
 - [Estructura disipativa y transformación](#)
-

“Naturalmente, es imposible predecir una nueva emergencia sin precedentes, precisamente porque es una creación nueva. Esto es lo que constituye la sorpresa y la belleza de este esfuerzo, que siempre respira un encanto, el encanto de lo extraordinario”

Claude Cuénot, Ciencia y Fé en Teilhard de Chardin, 1972

“Siempre existe la posibilidad de que alguna inestabilidad conduzca a algún nuevo mecanismo. Tenemos realmente un universo abierto”

Ilya Prigogine

¿Qué es una estructura disipativa?

Este es un básico y elegante concepto propuesto en 1.967 por el químico belga Ilya Prigogine. El concepto implica que una estructura se mantiene estable y al mismo tiempo consume y disipa materia y energía. El consumo o flujo de materia y energía dentro de la estructura puede cambiar, ocasionando transformación. Dicho de otra forma, una estructura estable puede cambiar por exportar o disipar energía en su entorno¹.

Prigogine se refirió a los sistemas vivos como estructuras disipativas así:

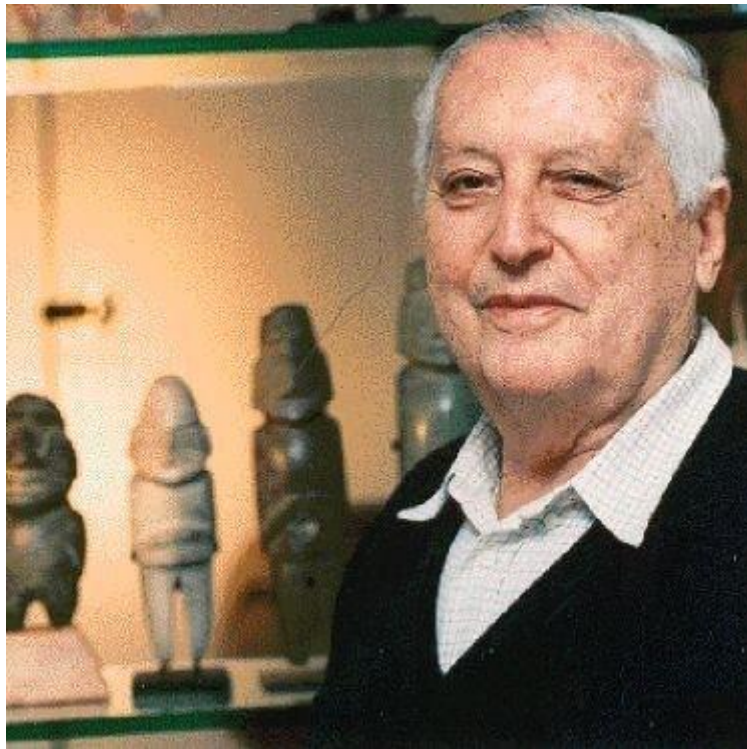
“But it is not just one instability that makes it possible to cross the threshold between life and non-life; it is, rather, a succession of instabilities of which we are only now beginning to identify certain stages.”

“No es solo la inestabilidad la que hace posible cruzar el umbral entre los seres vivos y las cosas inertes; es más bien una sucesión de

inestabilidades que estamos solamente empezando a identificar en algunos estadios”

Traducción del Autor

El desarrollo de la teoría de las estructuras disipativas supuso a su autor, el químico belga Ilya Prigogine la obtención del premio Nobel de Química en 1977; esta teoría explica como en la naturaleza todo sistema abierto de intercambio de energía con el medio ambiente es una estructura disipativa, lo cual implica que el mantenimiento de la estructura de este sistema se realiza con base en el consumo (disipación) o intercambio de energía.



Ilya Prigogine
1917, Moscú - 2003, Bruselas

El principio fundamental afirma la presencia de propiedades nuevas en la totalidad como tal que no ocurren en las partes como tales. **La clave de la estructura disipativa subyace en la palabra cooperación:** cuanta mayor cooperación hay en un sistema, mayor será su complejidad, y cuanta mayor sea su complejidad, mayor será su capacidad de producir resultados. Ahora bien, desde el punto de vista físico, el hecho de tener mayor complejidad, mayor cantidad de conexiones, implica "estar lejos del equilibrio dinámico".

El equilibrio dinámico se entiende como el estado final de dispersión aleatoria de la energía, de modo que a mayor equilibrio, menor dispersión aleatoria de energía -una especie de muerte-. Aquí es donde surge una paradoja: a mayores complejidad y coherencia en las conexiones del sistema por mayor flujo de energía, mayor desequilibrio tendrá (mayor probabilidad de dispersión aleatoria de la energía), resultando en mayor inestabilidad. De este modo, se postula que a mayor coherencia (en conexiones), mayor inestabilidad / desequilibrio / dispersión aleatoria de energía.

Dicho concepto se entiende desde el punto de vista de intercambio energético. En términos de Prigogine, la mayor disipación de energía hace más probable un súbito y repentino re-ordenamiento² que se puede entender como capacidad de transformación.

La termodinámica de la vida

Cuando un sistema se encuentra lejos de su estado de equilibrio térmico suele existir alguna conexión entre un entorno exterior y su propia organización interna y dichos estados están fuertemente condicionados por su composición detallada y su historia real. El significado termodinámico de la disminución del orden que encierra la segunda ley está a primera vista en conflicto con muchas de las complejas cosas que ocurren en nuestro entorno, por ejemplo en la evolución de formas complejas de vida a partir de otras más simples que fueron nuestros precursores.

Una de las dificultades que surgen al decidir si existen o no leyes de organización de un tipo termodinámico o similar, está relacionado con el problema del tiempo: cualquier principio organizador para ser útil debe ofrecer información sobre el desarrollo de la complejidad en el tiempo si bien en la práctica, el tiempo puede ser el determinante de ciertos tipos incipientes de organización. La noción del tiempo adquiere pleno significado en las situaciones en las que los cambios de entropía son manifiestos. Ilya Prigogine e Isobel Stengers refieren:

“solo cuando un sistema se comporta de manera suficientemente aleatoria debe entrar en su descripción la diferencia entre el pasado y el futuro, y por consiguiente la irreversibilidad (...) la flecha del tiempo es la manifestación del hecho que el futuro no está dado (...)”³.

La flecha del tiempo y la estructura disipativa.

La honda tradición científica arraigada desde Newton tendía a pasar por alto el tiempo. En el universo de Newton el tiempo se consideraba con respecto al movimiento. Si bien hay un número de fenómenos físicos particulares que manifiestan una direccionalidad o una “flecha del tiempo”, de acuerdo a unas leyes que permiten una cierta secuencia causal de sucesos, o una historia, permitirán también la historia invertida en el tiempo. Sin embargo, a pesar de la ubicuidad de este estado de cosas en la naturaleza, existe una propensión a exhibir historias de una dirección dada, pero nunca en la inversa, lo cual se conoce como la “paradoja de la reversibilidad”.

Cerca del equilibrio termodinámico, la entropía y la complejidad aumentan con el paso del tiempo, aunque existen historias en que disminuyen, pero no pueden ser observadas.

Los estados físicos en desintegración como los núcleos radiactivos disminuyen exponencialmente con el paso del tiempo y por último, poseemos un sentido psicológico del paso del tiempo y tal parece que nuestra memoria actúa sobre esa parte del tiempo que llamamos pasado, la cual se distingue claramente del futuro. Stephen Hawking sugiere que las flechas psicológica y termodinámica son las mismas debido “a que el cerebro es esencialmente un ordenador y el proceso de computación es irreversible; si bien este argumento pretende admitir de forma reduccionista que el cerebro es solo un ordenador que realiza operaciones lógicas y argüir que la computación es irreversible por razones de termodinámica, entonces el procesamiento mental poseería una “flecha del tiempo” aportada por la termodinámica. Sin embargo, este principio no es convincente pues existen argumentos que muestran que la computación abstracta no es lógicamente irreversible porque John Barrow describe la existencia de las llamadas “entradas lógicas que son inversas de sí mismas” y en circunstancias ideales no devienen como unidireccionales por la segunda ley de la termodinámica ⁴.

Relación conceptual entre sistema y estructura disipativa

La distinción entre sistemas abiertos y cerrados realizada por Ludwig von Bertalanffy en 1968, se basa en 1) la existencia de límites; 2) la regulación de la información del medio ambiente externo. Bertalanffy refiere a manera de ejemplo que los sistemas físicos, al operar dentro de sus propios límites y reaccionar a estímulos externos en forma mecánica, tienen un gran contraste con los sistemas abiertos, que se caracterizan por asimilar la información de su medio ambiente y emitir respuestas hacia el exterior, lo cual ocurre por

autonomasia en los sistemas vivos, que están en el extremo abierto del continuum. Los límites en el concepto de sistemas hacen posible la presencia de entradas o inputs y de salidas u outputs; para poder permanecer viva, toda persona (y cualquier otro sistema vivo) entra/ingresa materia, energía e información. El segundo principio que adicionalmente al de los límites permite comprender un sistema, es el de la regulación u homeóstasis. La homeóstasis consiste en el mantenimiento de un estado estable dentro del organismo frente a un ambiente drásticamente cambiante para el organismo.

La homeóstasis que se consigue por medio de un gran número de mecanismos de ajuste es un concepto que ha permeado positivamente todo el pensamiento científico, desde su introducción por el fisiólogo norteamericano Walter B. Cannon. Los psicólogos han empleado el concepto de homeóstasis en una buena parte de las teorías de la conducta humana. La conducta suele ser siempre un componente de un proceso homeostático fisiológico: por ejemplo, para conservar calor, se cruzan los brazos, o se sale de la cama para buscar una cobija extra, estas son conductas para mantener la temperatura corporal constante. Los impulsos surgen de alguna clase de alteración del equilibrio interno y la necesidad de resolver esta alteración ⁵.

El material de un sistema es el mismo, pero las diferentes asociaciones de los mismos elementos producirían cambios cualitativos, propiedades nuevas. Para explicar realidades biológicas tan complejas como la mente, la conciencia y la propia vida, se recurre al proceso de aparición de propiedades nuevas en sistemas completos ⁶. Las totalidades no pueden ser comprendidas mediante el análisis.

Células como estructuras disipativas

En las estructuras disipativas de los sistemas macroscópicos físicos y químicos que se encuentran lejos del equilibrio termodinámico, pueden surgir patrones espaciales a causa de fluctuaciones fortuitas, donde la descripción matemática de tales casos del llamado orden mediante fluctuaciones según los métodos de la termodinámica de procesos que no se encuentran en equilibrio muestra una gran analogía con las llamadas transiciones de fase.

Los sistemas físicoquímicos de las células son mucho más complejos que los del reino inorgánico y comprenden muchas transiciones de fase potencialmente indeterminadas, así como procesos termodinámicos que no se encuentran en equilibrio. Por ejemplo, en el protoplasma celular hay fases cristalinas, líquidas y lipídicas en interrelación dinámica, una gran variedad de

macromoléculas que pueden unirse y formar agregados cristalinos o casi cristalinos, potenciales eléctricos a través de las membranas que fluctúan imprevisiblemente y compartimentos con diferentes concentraciones de iones inorgánicos y otras sustancias separadas por membranas

Seres vivos como estructuras disipativas

Se dice que los animales superiores son individuos, es decir, son organismos individuales, o procesos, o sistemas abiertos que pueden formar parte de una agrupación o familia superior, como un rebaño una familia, una ciudad, una megalópolis, un estado y así sucesivamente.

Los organismos tienden a estar individualizados, lo cual es una tendencia de organización de la vida en la Tierra. El éxito de la individuación es el establecimiento de instintos orientados a la defensa y a la supervivencia: se configura una organización y un proceso.

Se podría afirmar que sin la individuación biológica no habrían emergido la mente ni la conciencia. Si se examina la individualidad de un mineral, es un sistema de átomos que oscilan, pero no abandonan ni se suman al sistema durante períodos relativamente largos, por lo cual constituyen sistemas cerrados, respecto a las partículas materiales de que están compuestos. En comparación frente a ellos, los organismos son sistemas abiertos porque intercambian partículas materiales y energía con el medio, poseen un metabolismo, y son individuos identificables a lo largo de todo este proceso. De este modo, los organismos se pueden denominar como "procesos dinámicos identificables" lo cual significa que son sistemas materiales que sufren intercambios de materia.

De modo que, aunque el yo y la conciencia cambian permaneciendo ellos mismos, **se modifican solamente a partir del cambiante organismo individual**, lo cual permite mantener una identidad individual.

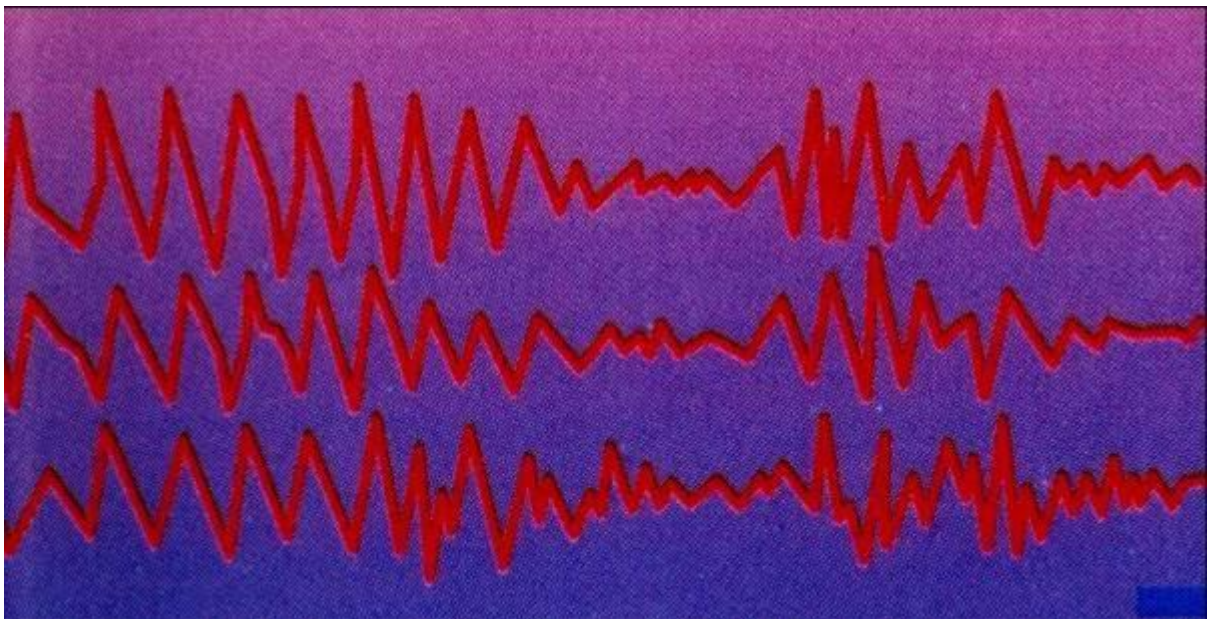
Los organismos son sistemas con autocontrol y algunos de ellos establecen centros de control que los mantienen en un estado de equilibrio dinámico. Los seres vivos y algunos sistemas inanimados son estructuras disipativas. Las estructuras disipativas son una especie de todo fluyente, con un alto nivel de organización, pero siempre en proceso. A semejanza de una estructura compleja, los seres vivos presentan conexiones diversas en diferentes puntos. El mantenimiento de estas conexiones implica consumo de energía, por lo tanto al necesitarse un flujo constante de energía, el sistema estará en estado de fluidez. De modo que la coherencia de una estructura compleja depende de

una mayor cantidad de conexiones. Esta mayor cantidad de conexiones supone un mayor flujo de energía. El continuo flujo de energía a través del sistema produce fluctuaciones, que cuando son pequeñas, son absorbidas por el sistema, pero cuando son grandes, característicamente aumentan las interacciones de las conexiones, creando nuevas conexiones y las partes se reorganizan en una nueva totalidad: el sistema ha resurgido en un nuevo estado de orden.

Cerebro como estructura disipativa

El cerebro es un ejemplo bastante dicente de estructura disipativa por el elevado consumo del total de la energía corporal: mientras que al cerebro corresponde el 2% del peso corporal, consume el 20% del oxígeno disponible. Los altibajos de su consumo energético reflejan la inestabilidad de un sistema disipativo.

Las ondas cerebrales son fluctuaciones de energía, que durante los estados alterados de conciencia pueden llegar a alcanzar un nivel crítico, lo suficientemente grande para inducir un nivel superior de organización.



Actividad eléctrica de la
corteza cerebral en trazado de EEG

Si se toman los recuerdos como estructuras disipativas, al ocurrir fluctuaciones de suficiente intensidad de los patrones de ondas previamente almacenados en el cerebro, cabe la instauración de un nuevo tipo de ondulaciones que resulta en la configuración de una nueva serie de conexiones, refiriéndose este término a las **interacciones entre los componentes**

de un sistema. La nueva estructura es como un paradigma más amplio. Pero en otras ocasiones las fluctuaciones de la actividad quedan amortiguadas (por ejemplo, las ondas beta del cerebro, con frecuencia de 18-30 hercios) y se mantiene el equilibrio del sistema.

Las fluctuaciones internas desbocadas de un sistema, sea este el cerebro, el tráfico, etc, quiebra el viejo equilibrio que no termina muchas veces en caos o destrucción, sino en la creación de una estructura totalmente nueva en un nivel superior.

A mayor complejidad en una estructura, tanto mayor será el nivel de complejidad de la próxima estructura, con un consiguiente mayor flujo/intercambio/disipación de energía, lo cual resultará en mayor coherencia y mayor inestabilidad. De este modo, -citando a Prigogine- *“la vida tiene la capacidad de crear nuevas formas por el hecho de permitir la "agitación" de las antiguas”*.

Estructura disipativa y transformación

Las totalidades superan a las partes en virtud de su propia coherencia interna, de la cooperación entre estos elementos constitutivos, y el hecho de que haya apertura a la entrada de nuevos datos, nueva información. Así, en una forma matemáticamente elegante, Prigogine demostró que por medio de la perturbación era posible la consecución de un nuevo orden.

La implicación de la transformación intrínseca a una estructura disipativa es que que bajo el influjo de la tensión puedan aparecer soluciones repentinas, que las crisis se vuelvan oportunidades y que las personas, por ejemplo, salgan fortalecidas del sufrimiento y las enfermedades. Cobra lógica aquella frase de Friedrich Nietzsche *“lo que no te mata, te fortalece”*. Al lograr cambios en el estado de conciencia, con una mayor integración, los individuos estarán en capacidad de seguir adelante.

Aharon Katchalsky intentó ligar estrechamente la teoría de las estructuras disipativas al funcionamiento del cerebro humano. Katchalsky describió algunas pautas dinámicas del comportamiento del cerebro, en cuanto a estar en constante conexión con el entorno (aún en los denominados **estados alterados de conciencia**), el sufrir cambios abruptos, el ser muy sensible a las perturbaciones.

Se considera por ejemplo que los recuerdos, los *engramas* de comportamiento y pensamiento implican un tipo de cooperación neuronal que lleva el sello de

las estructuras disipativas. En los estados alterados de conciencia las fluctuaciones de energía en algunos grupos neuronales pueden alcanzar un nivel crítico, de un tipo tal de amplitud, que puedan dar origen a una nueva organización ⁷.

Referencias.

1. En: <http://www.eoht.info/page/Dissipative+structure>
2. Barrow JD: **Teorías del Todo. Hacia una Explicación fundamental del Universo**. Crítica, Barcelona 1994. pp. 177
3. Barrow JD: **Teorías del Todo. Hacia una Explicación fundamental del Universo**. Crítica, Barcelona 1994. pp. 178
4. Sundberg ND, Tyler LE, Taplin JR: **Clinical Psychology: Expanding Horizons**. Second Edition. Prentice Hall, Inc. Englewood cliffs, New Jersey, 1973. pp 97
5. Moravec H : **El hombre mecánico. El futuro de la robótica y la inteligencia humana**. Salvat Editores. Barcelona, 1993. pp. 48
6. Fergusson M: **La Conspiración de Acuario**. 4ª Edición. Editorial Kairós, Barcelona, España. 1990. pp. 128, 183
7. Fergusson M: **La Conspiración de Acuario**. 4ª Edición. Editorial Kairós, Barcelona, España. 1990. pp. 186 y ss.