

Sobre la termodinámica de los sistemas físicos biológicos (I)

El envejecimiento: ¿Una cuestión de geometría? Un modelo topológico de la biología

Jorge Barragán

© Copyright 2004 Jorge Barragán.

© Copyright 2004 REDcientífica.

Todos los derechos reservados.

El Principio de Margalef

Uno de los conceptos primarios que permite comprender la termodinámica de los seres vivos, es el llamado principio de Margalef [[REF1](#)]: Los seres vivos son sistemas físicos (equivalencia) complejos, integrados por un sistema disipativo y uno auto organizativo acoplados entre sí (condición).

Como puede apreciarse, se considera a los seres vivos como sistemas físicos (principio de equivalencia), por lo que no extraña de aquí en más, que cumplan con las mismas leyes que operan para todos los sistemas físicos conocidos. Los seres vivos se ajustan a las mismas leyes de la física, que rigen la mecánica de todos los sistemas físicos.

Pero el principio de Margalef apunta también que se trata de sistemas físicos complejos, sistemas integrados a su vez por sistemas menores, una suerte de "sistemas subsumidos en sistemas", como lo destaca Donald Ingber al tratar sobre la geometría biológica [[REF2](#)].

Incluso Margalef va más allá, pues señala que estos sistemas que conforman el sistema complejo que constituye un ser vivo, se encuentran acoplados. La forma en que estos sistemas se acoplan, pasa a ser una cuestión fundamental, y su comprensión es uno de los pilares de la profunda reformulación de la biología, que se desarrolla en nuestros días.

El sistema disipativo, genera (obviamente "transforma") energía; y el sistema auto organizativo, recupera la energía disipada, como información. Esta recuperación de la energía como información, se aprecia en la generación de estructura, o en los cambios irreversibles de la misma, ligando indisolublemente los seres vivos al concepto de "historia" (producir hechos irreversibles).

Es notable que, si bien puede acertarse a comprender intuitivamente lo antedicho, entendemos por sistema físico al conjunto de elementos, que conforman una estructura con por lo menos alguna función común. Y la

condición de "complejos" se debe a que las partes que lo constituyen, son diferentes entre sí ^[REF9].

Pero dicho así, hasta una bicicleta se ajusta a la definición, y satisface incluso, el requerimiento de ser un sistema físico complejo. ¿Cómo explicar entonces, que no somos como una bicicleta, o como cualquier otro sistema físico inerte?. Sistemas físicos complejos, hay muchos en la naturaleza. Pero ninguno, salvo los seres vivos, es capaz de recuperar la energía que disipa como información. Recuperar la energía disipada como información, es la gran diferencia. Ello nos permite generar estructura, o provocar cambios irreversibles en la misma.

Para ser más precisos, esta capacidad nos permite "auto organizarnos". Y el centro de la cuestión vuelve a desplazarse, ahora hacia la propiedad de "auto organización". No todos los sistemas físicos, complejos o no, son auto organizativos. Sólo unos pocos, cumplen con tal condición. El estudio de modelos de auto organización, describe a los seres vivos como sistemas físicos complejos del tipo NK2, que retienen para sí, dos propiedades fundamentales asociadas a la condición de los seres vivos: auto organizativos, y homeostáticos ^[REF3].

A modo de simplificación, la *auto organización* puede definirse como la capacidad del sistema para generar y/o modificar su propia estructura, a partir de la información que recupera de la propia energía disipada (en realidad el tema es mucho más complejo, y nos llevaría al estudio de las redes booleanas aleatorias y las redes NK afines).

Por otra parte, no todos los sistemas auto organizativos son a su vez, homeostáticos. Sólo los sistemas NK2, cumplen con ambas condiciones (auto organización y homeostasis), cumpliendo con el "*principio de condición*" implicado en el principio de Margalef, *principio que define la condición de "vivos", de estos sistemas físicos*.

El concepto de *homeostasis*, requiere también una sucinta descripción: en física se define como la "*capacidad de un sistema físico para sortear perturbaciones*". Tal definición es con mucho, más versátil y global que la clásica definición médica de "mantener la constancia o equilibrio del medio interno", definición que incluso facilita malas interpretaciones: errores como considerar que es una suerte de "equilibrio estático" al que se debe introducir la noción de "bifurcación", para llegar a entender que el restablecimiento del equilibrio va mudando los "niveles". Ese tipo de vicio de interpretación, no ocurre si se parte de la definición física de la misma. Tampoco ocurre si se ahonda en "cómo" y "porqué" ocurre la homeostasis, o lo que es lo mismo decir, si se atiende al "*principio de estabilidad, inercia y recurrencia*" ^[REF4]. Los seres vivos somos entonces, sistemas físicos complejos auto organizativos y homeostáticos. Finalmente, antes de considerar las leyes de la termodinámica y su impacto en estos curiosos sistemas físicos que son los seres vivos, revisaremos el concepto de historia, tan ligado a los seres vivos.

En física, historia es producir hechos irreversibles, y ello se vincula directamente con la única evidencia física que tenemos sobre la presencia de información: la estructura material (su aparición, o sus cambios irreversibles) de los seres vivos ^[REF1]. La *información* se aprecia por los cambios irreversibles de la estructura, de modo que los seres vivos se hallan ligados de manera indisoluble a la creación de su propia historia, y el concepto de historia encuentra sus bases en la noción de información.

Se debe tener entonces, una clara idea de lo que es la información, y su significado en el marco de la creación de historia. De algún modo, el conjunto de valores de las variables de estado de un sistema físico, constituyen la información sobre el mismo. Pero esa información, puede o no estar disponible para el observador. Y para el observador, sólo cuando esos valores se encuentran disponibles para él, dichos valores dejan de ser datos sobre el sistema para pasar a ser información sobre el mismo. O como dice Margalef, para tener información, es necesario contar con un observador que "levante acta" de lo ocurrido, y el observador es siempre, un ser vivo. Estamos ligados estrechamente al concepto de información, y a través del mismo, a la creación de historia ^[REF1].

La flecha de la termodinámica

Y en este marco teórico, ¿qué significado tienen las leyes de la termodinámica en el mundo de la biología?. Podemos adelantar que es muy distinto al que, por diversas razones ha tenido hasta el presente. Pero para comprender acabadamente la cuestión, primero debemos asimilar los conceptos enunciados por la primera y la segunda ley de la termodinámica.

La termodinámica es la rama de la física que estudia los valores de las variables de un sistema, durante la transición entre dos estados estacionarios. Describe al sistema en la fase de transición entre dos estados estacionarios. Permite conocer la energía total del sistema, así como los flujos de la misma, el grado de orden del sistema, y la información disponible sobre el mismo. Tales conocimientos permiten luego, clasificar los sistemas físicos (desde el punto de vista termodinámico) como aislados, cerrados, y abiertos (los seres vivos).

La idea de conocer la energía total del sistema y los flujos de la misma, nos lleva a enfrentar directamente los postulados de la primera y la segunda ley: La primera reza que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma, mudando de una forma en otra. La energía es una, pero tiene diversas formas, según los efectos que provoque en el mundo físico. Así tenemos diferentes tipos, como la energía calórica, eléctrica, mecánica, química, etc.

Y sea cual sea la forma de energía con la que estemos tratando, admite a su vez que se la clasifique en cinética y potencial: nacida en la descripción del comportamiento de la energía mecánica, es aplicable a cualquiera de las formas de energía mencionadas.

Se considera energía potencial a aquella que no está provocando sus efectos en el presente, pero puede hacerlo en el futuro. En tanto que se considera cinética a la energía cuya acción o efecto, se encuentra en pleno desarrollo en el presente.

A juicio de la primera ley, todas las formas de energía son intercambiables entre sí. Es decir que, cualquier forma de energía puede transformarse en otra. Lo único que no ocurrirá, será la creación de nueva energía, o la destrucción de la misma.

Sin embargo, un hecho incontrovertible modificó la escena del pensamiento: una forma de energía, el calor, no es completamente transformable en otra forma de energía. Esto generó la aparición de nuevos conceptos, como el de "*eficiencia*" en la transformación de la energía. La transformación del calor en otra forma de energía, no es completa, y un porcentaje del calor quedará como tal.

Así, resulta claro que una forma de energía, el calor, va en constante aumento, en detrimento de otras formas de la energía. Esto es cuantificable a través de la temperatura.

La segunda ley resume el concepto en que, el calor no es transformable completamente en otra forma de energía, y dado que la energía total es la misma, habida cuenta que la misma no se crea ni se destruye, sino que se transforma de una forma en otra, el calor va en aumento, al paso que las otras formas de energía disminuyen. Esto otorga *direccionalidad* a los procesos físicos que conllevan transformación de la energía: las tazas se caen de la mesa y se rompen en pedazos, y no al revés. Toda transformación de la energía, implica entonces algún grado de *irreversibilidad*.

Existe pues, una flecha termodinámica que indica "en qué dirección" ocurren las cosas de manera espontánea. Todos los sucesos del mundo "clásico" macroscópico, responden a esta direccionalidad e irreversibilidad. Pero el microscópico "mundo cuántico", no reconoce esta barrera de irreversibilidad y direccionalidad [[REF5](#)]. No habría problema si estos mundos no coexistieran, pero lo hacen. ¿Cómo coexisten el determinismo y el azar?, ¿cómo conviven la causalidad y la casualidad? No se pone en duda

que coexistan, pero ¿cómo lo hacen?, y aún más: ¿por qué?

Los sistemas físicos vivos encierran parte de la respuesta. "*¿Cómo funciona la 2ª ley de la termodinámica?*" Para comprender mejor la situación, es preciso avanzar algo sobre los conceptos de orden, e información. De lo contrario, es fácil caer en falsas interpretaciones, como aquellas que "profetizan" el final de la vida en el universo, y del universo mismo, cuando el calor sea la única forma de energía presente. Así, se calcula cuándo la tierra dejará de albergar vida, cuándo el Sol dejará de brillar, y cuándo se acabará con todo el orden que se conoce, se haya conocido o se llegue a conocer.

Ello es fruto de no comprender que la 2ª ley de la termodinámica es la misma para todos los sistemas físicos, pero su impacto sobre tales sistemas no es el mismo si se trata de sistemas físicos inertes, o de sistemas físicos biológicos. En el caso de los sistemas inertes, la disipación de energía acaba con el orden en los mismos, ya que ellos no recuperan como información la energía disipada. Pero en el caso de los sistemas físicos biológicos (los seres vivos), la disipación de energía, garantiza su orden y su creciente organización, ya que los mismos son capaces de recuperar como información la energía disipada.

Ramón Margalef lo resume al sentenciar, "el truco de los seres vivos, consiste en hacerse el centro de la generación de procesos irreversibles, generando orden a partir de la energía disipada". [[REF1](#)] [[REF6](#)] Y el autor, aunque sin la claridad del gran maestro, lo plantea en los diálogos de "[Las aventuras del capitán Mnemo](#)" [[REF7](#)].

El orden y la información

La cuestión del *orden* se expresa con claridad en las llamadas funciones de estado termodinámico, como la entropía y la entalpía, que contribuyen a comprender el tema y a darle incluso, un mayor alcance. La *entropía* es una medida del desorden de un sistema físico, y la *entalpía* es una medida del orden de dicho sistema. Y aunque parezca obvio, es preciso aclarar a qué llamamos orden y a qué llamamos desorden en un sistema físico.

El concepto de orden supone la compartimentalización del sistema, su diferenciación y su potencial diversificación. El desorden, en cambio, supone la uniformización del sistema, así como su incapacidad de diferenciación y diversificación.

En cuanto a la cuestión de la información disponible sobre el sistema, la misma se halla estrechamente vinculada a las funciones de estado termodinámico y el grado de orden del sistema en estudio. Un aumento de la entropía, implica un incremento en la uniformización del sistema, o lo que es lo mismo decir, un mayor grado de desorden, una pérdida de la compartimentalización y la capacidad de diferenciación y diversificación. El calor es la forma de energía creciente en el sistema, mientras que otras formas reducen su presencia.

Por el contrario, cuanto más ordenado se encuentre un sistema físico, es decir, cuanto más compartimentalizado se halle, de tanta más información dispondremos sobre el mismo. La mayor entalpía, se acompañará también de una creciente capacidad de diferenciación y diversificación.

Y como el tema de la *información* es una parte muy importante de los sistemas físicos complejos como los biológicos, ya que como dijimos, los mismos consisten la asociación de un sistema disipativo que genera y administra la energía, y otro autoorganizativo que administra la información, el punto merece mayor atención.

No sería para nada conveniente que el lector suponga que todas estas cuestiones son entelequias, que poco y nada se relacionan con la biología. Imaginemos un sistema físico constituido por un vaso con agua, al que le agregamos una gota de tinta azul.

FIGURA 1 (a y b)

En un primer momento, el sistema se encuentra ordenado y perfectamente compartimentalizado, por lo que disponemos de suficiente información sobre el mismo. Sabemos con precisión el sitio exacto en donde se encuentra la gota, la velocidad de dispersión de la misma, el tamaño y la forma que adquiere, etc.

Para cuando la gota se haya disuelto completamente, es decir para cuando el sistema se haya uniformizado y haya perdido su compartimentalización, el grado de desorden será máximo en el sistema. Entonces, no dispondremos de información sobre el mismo: ¿dónde está la gota?, ¿a qué velocidad se dispersa?, ¿qué forma tiene?. Ya no lo sabemos, ni podremos volver a saberlo, ya que se trata de un proceso irreversible.

La cuestión de contar con información y saber qué hacer con ella, es un punto central de la biología. Los seres vivos cuentan con información, y con ella generan su propia estructura, o en otras palabras, se auto-organizan. Esta tendencia a auto organizarse, es opuesta al caos y el desorden. Sin embargo, no supone que los seres vivos dejen de cumplir con la segunda ley de la termodinámica. Los seres vivos se ordenan, al paso que desordenan el ambiente en el que se encuentran. La creciente entalpía del ser vivo, se acompaña de la creciente entropía de su entorno. La tendencia general es hacia una creciente entropía, y los seres vivos sólo representan una tendencia local y transitoria hacia el orden.

Los seres vivos cumplen con la segunda ley de la termodinámica, como cualquier otro sistema físico. Pero esto tampoco debe mal interpretarse. A primera vista el hecho se presta a suponer que los seres vivos, finalmente mueren "en cumplimiento" de la segunda ley, porque la creciente entropía acaba con ellos.

Nada más lejos de la realidad. Autores como Ilya Prigogine (fallecido a fines del 2002) y el mismo Ramón Margalef han dado fundadas pruebas, que demuestran el yerro de tal aseveración. [[REF8](#)] [[REF9](#)]

La creciente entropía procede de la disipación de energía, lo que explica el final de cualquier sistema físico no auto organizativo. Pero ese no es el caso de los seres vivos, que son sistemas físicos auto organizativos. Y la auto organización deviene, en parte, de recuperar como información la energía disipada. Esta particularidad, hace de los seres vivos, sistemas físicos únicos en la naturaleza.

Así, la disipación de energía, que incrementa la entropía de los sistemas físicos inertes hasta acabar con los mismos, es la fuente de la información que sostiene la creciente organización de los seres vivos. Los seres vivos cumplen con la segunda ley, pero ello, lejos de ser su "certificado de defunción", es la garantía de su creciente orden y diferenciación [[REF1](#)] [[REF9](#)]. No declinamos ni morimos por causa de la segunda ley de la termodinámica, sino por razones que están más allá de ella.

La cuestión sobrepasa el radio de acción de la segunda ley, y pertenece a otras ramas de la física (incluso puede asegurarse que se trata de una cuestión inter o quizá, transdisciplinaria). Esta forma de concebir la física y la termodinámica de los seres vivos, no es un hecho menor en la biología. Es el punto de partida que permite reformular el conocimiento de los seres vivos, como verdaderos sistemas físicos. Permite reinterpretar el significado de la segunda ley de la termodinámica, bajo un marco teórico de referencia completamente distinto al que reina para los sistemas físicos inertes. Sus consecuencias se extienden a toda la disciplina biológica, desde la definición de los seres vivos, hasta su evolución. [[REF10](#)]

En cuanto a la biología celular, el tema de la termodinámica se hace patente al estudiar el metabolismo celular y su relación con la conducta biológica de las células [[REF11](#)]. Ya no sólo podemos preguntarnos "¿cómo funciona la 2ª ley de la termodinámica?", sino también cuestionarnos "¿siempre decrece la capacidad de recuperar la energía como información?". A juzgar por la capacidad de auto-organización de estos curiosos sistemas físicos (los seres vivos), la respuesta es "no". En algún momento de sus vidas, incluso es creciente. Cuando declina, ¿porqué lo hace?. Cuando aumenta, ¿por qué lo hace?. Como reza el último recuadro, la respuesta no está en la 2ª ley.

De la ingeniería inversa, a la flecha de la información

Cuando uno se propone construir cierto instrumento con determinada utilidad o finalidad, se enfrenta al problema de armar sus partes de modo tal que el objeto pueda prestar la utilidad que se espera de él (que sirva para lo que se lo ha creado). Pero cuando nos encontramos con un objeto más o menos complejo, del que desconocemos su utilidad, nos enfrentamos al problema inverso: el objeto ya está armado, y debemos descubrir para qué sirve (su utilidad) [[REF12](#)]. ¿Cómo podemos sacar provecho de esta forma de ingeniería inversa en el tema que nos ocupa?

Pues reduciendo el problema a sus expresiones más simples, y luego tratando de "verlo al revés" (en realidad, desde otro punto de vista). ¿Cuáles son las expresiones más simples o elementales?: Los conceptos de energía, materia, e información. Materia y energía son dos caras de la misma moneda, al punto que cuando la materia se transforma en energía podemos preguntarnos ¿cuál es el punto de vista de la materia?, y nos encontramos con que ella ha "desaparecido" como tal, aunque en realidad "sigue estando presente" como energía. También podemos preguntarnos ¿cuál es el punto de vista de la energía?, y veremos que ella "apareció" como tal, aunque en realidad ella "estuvo siempre allí" como materia. Las transformaciones de la energía, nos llevan a las conocidas leyes de la termodinámica.

Pero, ¿cómo lucirían las leyes de la termodinámica, desde el punto de vista de la información?. Las leyes de la termodinámica, aunque expresadas en términos de las transformaciones de la energía, comprenden las profundas relaciones entre la materia, la energía y la información. Luego, ¿cómo se verían estas leyes desde el punto de vista de la dinámica de la información?.

Siguiendo a Margalef, deberíamos decir que si no está disponible, el observador no puede hacer uso de ella, y por lo tanto no tendríamos información. Pero no podemos entrar en tan franca colisión con la mecánica cuántica (de Copenhage, de Bohm, o de quien sea), o para mejor decir: podemos, pero no debemos. En primer lugar, porque los experimentos de elección retardada (entre muchos otros), han corroborado su veracidad. Y en segundo término, porque la realidad está allí, más allá de que podamos o no conocerla. Quizá sea preferible decir que, si el observador no puede hacer uso de la información, no tenemos información... "disponible".

Cuando obtenemos energía a partir de la materia, no creamos energía, sino que la transformamos. La combustión de los derivados del petróleo no crea energía, sino que torna disponible la energía de los mismos. Materia y energía son, como ya se dijo, dos caras de la misma moneda.

De manera análoga, cuando los sistemas físicos biológicos recuperan la energía como información, no "crean" la información, sino tan sólo la tornan disponible para el sistema. La información puede estar disponible o no, pero es una condición inherente al sistema en cuestión, habida cuenta que las variables de estado del sistema tienen un valor, más allá que el mismo se encuentre disponible o no para el observador.

Y la mecánica cuántica puede ayudarnos a comprender "cuándo la información está disponible". Pues cuando ocurre un proceso de amplificación, tal amplificación reviste el carácter de "irreversible". La cuestión es, "¿por qué?", y la respuesta está en la 2° ley..., pero de la dinámica de la información.

Existe pues, una "*flecha de la información*", contraria y complementaria a la comentada flecha de la termodinámica. La irreversibilidad de la 2° ley de la termodinámica no se debe a que el calor no pueda ser transformado completamente en otra forma de energía, sino que esto es una consecuencia de que la información se ha tornado disponible. Cada vez que un sistema biológico disipa energía, la recupera como información, disponible para el sistema bajo la forma de cambios irreversibles de su estructura. En todo esto, lo que menos importa es el calor en sí. Desde el punto de vista de la información, así funcionaría la 2° ley.

Esta es la razón por la que Margalef sentencia: *"la 2ª ley, lejos de ser el certificado de defunción de los seres vivos, es la garantía de su creciente orden y diferenciación"* Decir que los seres vivos se ordenan desordenando su entorno sigue siendo correcto, pero es un argumento superficial en el estado actual de conocimiento del tema. Por más que la energía que circula por la biosfera sea insignificante a escala cósmica [[REF9](#)], los seres vivos estamos aquí, y cualquier explicación que pretendamos del universo conocido debe comprendernos. Es claro que con o sin nosotros, la energía se degradaría en el universo. Pero somos parte del universo, y ya sea que el mismo se expanda, o que algún otro fenómeno (quizá nosotros mismos) lo torne un sistema abierto, el universo esquiva la amenaza de la muerte térmica. Tal amenaza es cuanto menos, un artefacto intelectual que omite la consideración de fenómenos de simple observación: el gradiente de disipación de energía en el universo, lleva a la degradación de la misma, pero esa misma disipación "siembra" por doquier sistemas que se auto organizan, hacen que el universo "viva" en ellos, e incluso, tenga consciencia de sí mismo. [[REF9](#)]

Si las amplificaciones son irreversibles, es porque tornan la información disponible: la incertidumbre cede ante la certidumbre, la casualidad ante la causalidad, y el mundo comienza a hacerse algo más familiar. La materia no puede transmitir la información, pero puede sustentarla en su estructura, mientras que la energía puede transmitir la información, pero no puede sustentarla.

Así, la generación de estructura o los cambios de la misma, se erigen como la "manifestación" de la información. Cambios que son entonces irreversibles, ligan los seres vivos a la creación de historia. Sin embargo, esto de la creación de historia, no debe servir para confundir la historia con el devenir del tiempo: La historia no tiene que ver con el tiempo transcurrido, sino con la generación de hechos irreversibles. Esto es, con el flujo de la información.

No es el tiempo transcurrido el que termina con la incertidumbre, sino la disponibilidad de la información: Uno puede tener 20 años y no saber si se contraerá matrimonio, pero no basta con esperar hasta los 80 años para saberlo. Puede cumplir 80, y aún no saberlo. Lo único que acaba con la situación, es contraer matrimonio (a cualquier edad), o morirse sin haberlo hecho (aunque para muchos, morirse y contraer matrimonio se parezcan tanto, que sólo un experto pueda explicar la diferencia). Entonces, bromas aparte, cesa la incertidumbre. Y no lo hace por el tiempo transcurrido, sino porque la información se ha tornado disponible. Esta aparente trivialidad, encierra una de las llaves más poderosas para comprender nuestro mundo.

Sea cual fuere el diseño experimental que se proponga, una vez que la información está disponible (entendiendo por disponible, que el observador accede a la misma), el proceso es irreversible. Por intrincado que sea el diseño, una vez que sepamos si el gato de Schrödinger está vivo o muerto, la información está disponible, y ya no abandonará ese estado.

Así, si el gato está vivo, por más que el experimento se repita mil veces y de la manera más compleja que se pueda imaginar, la información obtenida en cada caso es inmutable. La suposición de que la irreversibilidad ocurre sólo si el gato está muerto, deviene de no respetar el diseño experimental: Si el gato está vivo, para cuando repitamos la secuencia, da lo mismo si se trata del mismo gato o del gato Félix (el de la mítica fauna hollywoodense), así como poco importa si el dispositivo es disparado por Schrödinger, o el coronel Tapiocca (el de la Euskal). En esa secuencia en particular, contamos con un resultado, y el mismo es irreversible. De morir el gato, se coloca otro gato en la caja, se dispara el dispositivo experimental y se procede a medir los resultados. No procede esperar a que finalicen todas las repeticiones experimentales y pretender que la información alternó alegremente su disponibilidad y no disponibilidad durante el curso de toda la secuencia. No se obtiene información sólo en la última repetición, sino en cada una de ellas. Y la información de lo ocurrido en cada ocasión, una vez disponible, no abandona ese estado. Lo que ocurre en cada caso, es irreversible, y no deja de "estar allí" por más que antes o después, ocurra lo contrario.

Lo que ocurra en cada ocasión con el gato, no está condicionado por lo que ocurrió en los experimentos previos, sino por el diseño en sí. En cada ocasión las probabilidades siguen siendo 50 % para que viva y 50

% para que muera, pero como no procede decir que el gato está 50 % vivo y 50 % muerto, la reiteración experimental permite aseverar que en el 50 % de los casos el gato está vivo, y en el restante 50 % está muerto.

El caso de la gota de tinta en el vaso con agua, invita a pensar que la información puede fluir también en sentido inverso al que se propone, de disponible a no disponible. Parece que la información, puede pasar del estado disponible al no disponible. Pero en realidad, lo que ocurre es que es el sistema en sí mismo el que ya no está disponible. La información no se ha tornado "no disponible", sino que se ha perdido junto con todo el sistema.

La 2° ley de la termodinámica no sería una fuerza primaria que explica la conducta de los sistemas físicos, sino el "eco" de una fuerza elemental, que describe el flujo de la información en la naturaleza.

Ella (la 2° ley) no puede dar cuenta por sí misma, de los cambios que se operan en el flujo de la energía a la información. Y con la información como parte de este curioso círculo de transformación en el que participan también la energía y la materia, la analogía de las caras de una moneda (materia y energía) deja de ser efectiva. Esto se parece a una piedra roseta, que en una cara tiene escritas leyes de la física según la energía, en otra según la materia, y en otra según la información. Materia, energía e información, se hallan íntimamente relacionadas entre sí.

En otras palabras, la 2° ley no puede explicar por qué la recuperación de energía como información crece (cuando el sistema se auto organiza), o decae (cuando el sistema declina o envejece). Luego, ¿por qué envejecen los seres vivos?, ¿por qué se originan y auto organizan?

Homeostasis, y geometría topológica

Si se pretende analizar ¿por qué los seres vivos son homeostáticos?, se debe definir el marco en el que se va a realizar el análisis. El más profundo y general, lo encontramos en el comentado *principio de "de la Herrán Gascón"* ([estabilidad, inercia y recurrencia](#)): "los seres vivos son homeostáticos, porque nos parecen homeostáticos, y ello deviene de nuestra particular manera de percibir la realidad". [[REF4](#)] Pero más superficialmente, ¿existe alguna relación entre el modelo de auto organización y homeostasis propuesto por Stuart Kauffman, [[REF13](#)] y la aplicación de la *fase de Berry*, topológica o geométrica [[REF14](#)] a los seres vivos que propone el autor?

La aplicación de referencia, es la siguiente: De forma básica, cuando un sistema físico que describe ciclos en un ambiente que sufre cambios lentos, ciclo tras ciclo algunas de sus variables no recobran sus valores originales. La condición de cambios "lentos" es esencial, ya que respeta el teorema adiabático-cuántico (ello nos asegura que estamos en presencia del mismo sistema físico). Hay muchos ejemplos, pero quizá el más contundente es el desplazamiento de un lápiz que se apoya de lado sobre el polo superior de una esfera, recorre por un meridiano el trayecto que lo separa del ecuador, sufre transporte paralelo hacia otro meridiano, y así como está, regresa al origen.

El lector puede preguntarse, ¿y qué tiene esto de extraño? Pues que al final del recorrido, el lápiz ya no apunta en la dirección original, habida cuenta que ha sufrido un cambio de fase geométrica.

FIGURA 2

Cuando se dice "algunas variables", ¿a cuáles nos referimos?. Pues a las que son sensibles a los cambios de geometría ambiental. De hecho, no todas lo son. El lápiz sigue midiendo lo mismo, pesando lo mismo, teniendo el mismo color, etc. Asumiendo el principio de Margalef como "*principio de equivalencia*" (uno de los dos principios que contiene) entre los seres vivos y los sistemas físicos, podemos preguntarnos ¿en qué

forma la fase geométrica afecta a los seres vivos? Pues que podría ser que los seres vivos envejecieran, por sufrir un cambio de fase geométrica. Es decir, porque ciclo tras ciclo, algunas de sus variables no recobrasen sus valores originales.

Pero, ¿qué permite "sospechar" de la fase geométrica? Para aclarar ese punto, es necesario preguntarse: ¿Qué condición define al envejecimiento biológico? Quizá se pueda pensar en algunas cuantas, pero una de ellas identifica al envejecimiento con rara precisión: la gradual pérdida de la homeostasis y la capacidad de auto organización. [REF15] [REF16] Pero aún asumiendo que el envejecimiento biológico se debiera a la fase geométrica, se debe observar que si los seres vivos sufren fase geométrica, ¿cómo logran en algún momento, originarse, auto organizarse e incrementar su homeostasis, nacer, crecer, evolucionar, etc? Siguiendo a Kauffman, logran hacerlo porque son sistemas del tipo NK2. De manera sencilla, sistemas de N elementos en los que el estado de uno cualquiera de ellos, depende del estado de otros dos elementos del sistema. Con el sesgo y la conectividad apropiada, este tipo de red de elementos tiende en forma espontánea al orden, reclamando para sí dos propiedades que, curiosamente, identifican a los seres vivos: son capaces de sortear perturbaciones (homeostáticos) y no requieren intervención externa para organizarse (auto organizativos). La cuestión, dentro de este marco, es ¿por qué razón sólo las redes $K=2$ muestran estas propiedades? Y la razón es que sólo con ese valor de K, ciertos elementos cobran ciclo tras ciclo, los mismos valores de estado, formando "islas, o núcleos congelados", al paso que otros elementos de la red, continúan cambiando ciclo tras ciclo sus valores de estado. [REF3]

Sin más descripción del modelo, que con facilidad puede consultarse en su misma fuente, resulta claro que ello puede explicar la auto organización y la homeostasis de los seres vivos. Hecho no menor, que lleva al mismo Kauffman a proponer que esta fuerza primaria es un motor de la evolución, tanto o más poderoso que la selección natural.

Pero sin ir tan lejos, un objetivo más modesto puede ser preguntarse ¿sufre algún tipo de cambio la geometría ambiental de estos sistemas? Los sistemas físicos sufren un cambio de fase geométrica, si describen sus ciclos en un ambiente que sufre cambios lentos de su geometría. Cabe deducir que si la fase geométrica es función del cambio de la geometría ambiental, si este no se produce, no hay cambio de fase geométrica, o en otras palabras: si el ambiente no sufre cambios de su geometría, las variables de estado recobran cíclicamente sus valores originales. Y dado que ese es el único caso (sistemas NK2) en que el sistema tiende al orden y adquiere capacidad de homeostasis, cabe pensar que la tendencia al orden y la homeostasis depende de la ausencia de cambios de la geometría ambiental. La gradual pérdida de la homeostasis y la auto organización observada en el envejecimiento, no puede entonces, ocurrir en el mismo marco de ausencia de cambio de su geometría ambiental. La geometría ambiental debe presentar cambios lentos que determinen que, ciclo tras ciclo, las variables de estado no recobren sus valores originales.

Si el modelo de Kauffman puede dar cuenta de la tendencia al orden, es por su planaridad. La misma que le impide dar cuenta del envejecimiento. De igual modo, si la fase de Berry puede dar cuenta del envejecimiento, es por presentar un ambiente curvo. Ello a su vez, le impide explicar la tendencia al orden. Pero, ¿cómo dos modelos opuestos pueden dar cuenta de la evolución del mismo sistema? O lo que es lo mismo, ¿ por qué el ambiente es plano al principio de nuestra vida, y curvo al final de la misma?

Para responder a esta cuestión, se debe atender primero a los siguientes puntos:

1- En la fase de Berry, los cambios lentos de la geometría ambiental influyen sobre los valores que cobran las variables de estado del sistema, pero no es el sistema el que provoca dichos cambios, sino que tan sólo transita por ellos (el lápiz no provoca la curvatura de la esfera). En nuestro caso, si los seres vivos no provocan la distorsión, serían los únicos en transitar por ellas. La situación resulta, por lo menos, extraña: el espacio presenta alabeos que son transitados por ciertos sistemas físicos, pero no por otros. Es como si dos camiones circulan por un camino, y sólo uno de ellos se encuentra con todos los pozos. Cabe pensar que uno de los vehículos está cargado al máximo, y provoca las discontinuidades del camino, por las cuales (ahora obviamente) sólo él transita. Lo que en nuestro caso equivale a decir: los seres vivos provocan la distorsión ambiental (razón por la que la noción de ambiente también cambia en el caso de los seres vivos),

por la que sólo ellos transitan.

2- La noción de ambiente implica no sólo el espacio que rodea al sistema, sino también a la región del espacio físico real, en que se definen las variables de estado del sistema. Este conjunto de variables conforma un espacio virtual, llamado espacio de parámetros, que "se halla rodeado por" y "se define en" cierta región del espacio físico real al que llamamos "ambiente" del sistema. Así una variable cualquiera, como la temperatura rectal de un gato, es una de las tantas que pueden definirse en el espacio de parámetros del sistema, pero no es una entelequia inasible, como un fantasma matemático de ese espacio virtual llamado espacio de parámetros. Existe un sitio físico concreto, en donde se define la temperatura rectal del gato. Ese sitio no rodea al sitio en que se define la variable, sino que es el sitio del espacio físico real en donde se define la misma. Tal es, el recto del gato.

3- La trayectoria de un haz de luz en el espacio físico real, sin interposición de ningún tipo de lente que distorsione dicha trayectoria, puede definirse como plana, aún cuando sufriera reflexiones especulares en su camino. Pero la presencia de lentes o periscopios (cambio ambiental) en el camino, le hacen llevar una trayectoria no plana.

FIGURA 3

El cambio de la geometría ambiental, no implica un cambio de la geometría del espacio físico real, y sólo manifiesta si el haz está atravesando algún tipo de lente o no [[REF17](#)]. En el caso de los seres vivos, la trayectoria no puede definirse como plana, a menos que se asimile el espacio físico real a un plano. Luego, las distorsiones de la geometría ambiental que provocan los seres vivos, son distorsiones de la geometría espacio temporal. En pocas palabras, los seres vivos curvan el espacio tiempo, y al hacerlo, provocan su propio cambio de fase geométrica (nuestros efectos ambientales van más allá de afectar la capa de ozono, talar los bosques tropicales, o hacer perfumes con las ballenas).

Entonces el fenómeno biológico reclama para sí, una característica: la dimensional. La raíz de ello se halla en que la razón por la que el modelo de Kauffman puede explicar la tendencia al orden y la homeostasis, es la planaridad de su geometría ambiental. Planaridad que se pierde al avanzar los procesos biológicos (generar cambios irreversibles de la estructura con la energía disipada, con lo que la densidad de información aumenta en esa región espacio temporal), hasta presentar una curvatura tal, que se da lugar a la fase de Berry, dando cuenta de su entonces gradual pérdida de la homeostasis.

Biología: un modelo topológico

Nada puede alejarnos tanto del conocimiento, como etiquetarlo en compartimentos estancos. Clemenceau sentenció, "la guerra es una cosa demasiado seria como para dejarla sólo en manos de los militares". Pues bien, vaya como paráfrasis "la biología es una cosa demasiado seria, como para dejarla sólo en manos de los biólogos", y lo mismo podría decirse de la física, la filosofía, y otras ramas del saber.

Pocas cosas rinden tan poco fruto, como tratar de explicar el origen de los seres vivos y su evolución, tan sólo armados de teorías biológicas. Afortunadamente, una larga lista de autores se ha encargado de dejar eso en el pasado (Kauffman, Margalef, Prigogine, de la Herrán Gascón, Sandín, Decker, Maturana, Galindo Soria, Agudelo Murguía, y la lista sigue, por suerte). Pero el envejecimiento, sigue siendo explicado sólo por la biología, sin la "intromisión" de disciplinas extrañas a la materia. ¿El resultado?: seguimos sin explicarnos el asunto.

Tomemos por caso los ejemplos más simples de envejecimiento, como la pérdida de la capacidad de división celular en una línea diferenciada de células, que se comportan en función de la línea a la que pertenecen (condición imprescindible, ya que de lo contrario las divisiones pueden ser indefinidas, y no compete su

análisis en el marco de la línea, sino de cada célula en particular). [REF11]

Y aún más, las células parecen llevar memoria de las divisiones realizadas, al punto que si se las congela, guardan esta curiosa memoria. Al descongelar la célula, esta continúa con las divisiones, pero llevando con precisión, memoria de cuántas divisiones había realizado antes de la congelación, y cuántas le restan llevar a cabo.

FIGURA 3

En biología se aduce que ello se debe a la genética celular, sea que se presenten errores acumulativos, o que se dispare un programa de muerte. Los experimentos de Hayfflick con ciertas células como los fibroblastos, sustentaron la hipótesis. [REF18]

FIGURA 4

Pero la clonación dio por tierra con la interpretación, pues núcleos de los que se esperaban pocas divisiones, pudieron clonar un individuo. [REF19] [REF20]

FIGURA 5

La conducta de los seres vivos no puede desentrañarse pensando en ellos como entes analizables en forma diferencial: su genética, su bioquímica, su estructura, su función... Su comprensión, depende de su análisis como unidad, en forma global. Desde el punto de vista que se propone, la línea que lleva a cabo divisiones celulares se encuentra en plena actividad biológica, provocando la gradual curvatura del ambiente en que se definen sus variables de estado. Ello deviene en la gradual declinación de dichas variables de estado, provocando el envejecimiento y muerte del sistema.

La línea que en algún punto de su actividad biológica sufre congelación, detiene la misma, cesando las divisiones. De allí en más, el sistema no genera distorsión de la geometría ambiental. Cuando recupere su actividad biológica, lo hace a punto de partida de esa geometría de su ambiente, y ello le permite recorrer su camino como si guardase una "extraña memoria" de lo ocurrido antes de la congelación. Esto no tiene que ver con la genética, sino con la energía disipada, la información recuperada, y la distorsión de la geometría espacial. ¿Y qué de la clonación y los experimentos de Hayfflick? Si el ambiente fue curvado, ¿recupera su planaridad al transplantar núcleos celulares?

La respuesta es: estamos ante la presencia de "otro" sistema biológico, que inicia su actividad en un ambiente plano (no se "aplanó" el ambiente curvado, sino que fue reemplazado por uno plano). El asunto de los experimentos de Hayfflick con fibroblastos es, ¿qué tan planos resultan los ambientes de los "nuevos" sistemas?. Una cosa es segura: sus potencialidades no dependen de la genética.

Si el ambiente del nuevo sistema es lo bastante plano como para permitir una alta tasa de recuperación de la energía disipada como información, tendrá por delante un largo camino por recorrer (lo que en el enfoque genético se aprecia como un núcleo "joven" en un citoplasma "viejo"). En el caso de un ambiente no tan plano, aunque no completamente curvado, el sistema contará con una baja tasa de recuperación de la energía disipada, teniendo así, un corto camino biológico por delante (en el enfoque genético ello se aprecia como un núcleo "viejo" en un citoplasma "joven").

Si ambos modelos permiten explicar satisfactoriamente la conducta de los fibroblastos de Hayfflick, ¿por qué merecería primacía el modelo "topológico" que se propone? Porque como ya se dijo, el modelo de Hayfflick no puede dar cuenta de la clonación ni de la memoria de las divisiones celulares en una línea (caso de la congelación), al paso que el modelo topológico puede dar cuenta de la clonación, de la congelación, y de los mismos fibroblastos de Hayfflick. La curiosa memoria celular de referencia, no es otra cosa que la impronta que los seres vivos marcan en el ambiente en que definen sus variables de estado, o sea, en la región del espacio físico real en que se definen dichas variables. FIGURA 3 Esa rara huella se labra con "información",

bajo la forma de estructura recuperada de la energía disipada (...nos tomamos a Margalef muy en serio). La densidad de información es creciente en la región del espacio tiempo, que opera como ambiente en el que se definen las variables de estado de estos sistemas.

Ello genera la distorsión de nuestro "conocido" espacio de cuatro dimensiones, en una quinta dimensión que se aprecia en los seres vivos. La cuestión de ¿por qué esta dimensión se aprecia sólo en los seres vivos?, es casi como preguntar, ¿por qué hay cosas más anchas que largas, o más altas que anchas?.

El valor de la quinta dimensión que se propone, tiende a cero o es nulo en los sistemas físicos que llamamos inertes. A los que "echan a andar la quinta dimensión en el espacio y el tiempo", es decir aquellos sistemas en los que cobra valores distintos de cero, les llamamos vivos. Pero a juicio de la propuesta, todos los puntos del espacio tiempo están determinados por al menos cinco componentes.

Desde luego que la presente no pretende ser una re formulación de la geometría espacial en general, ya que cualquier tratado apropiado de matemáticas ilustrará mejor sobre el asunto, incluso explicando "cómo" se puede compactar una dimensión. [[REF21](#)] [[REF22](#)] Lo único que se dice, es que "es posible que exista una dimensión más en el espacio, y que la misma se vincule en forma particular a los seres vivos". Claro que uno puede preguntarse: si los seres vivos distorsionan realmente el espacio, ¿por qué no se observa la distorsión espacial propuesta?

La respuesta es: se observa, le llamamos envejecimiento, y contribuye a definir el fenómeno biológico. [[REF15](#)] Todo par de sucesos que ocurra en la línea de este quinto vector, presentará simultaneidad temporal y espacial. Pero la representación espacio temporal del quinto vector, presentará distorsiones que los seres vivos apreciarán como pasado, presente y futuro de su existencia. Es probable que simplemente, los seres vivos estimen como su futuro a todo suceso al que se acercan, y como su pasado los sucesos de los que se alejan. Pero ¿qué valor absoluto tiene ello (la noción de pasado, presente o futuro)? Quizá muy poco, o ninguno.

FIGURA 6

Así, si bien no es en modo alguno seguro, es probable que nuestro mundo no sea lo que parece, y que nosotros mismos no seamos lo que creemos ser.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[REF1] Margalef i Lopez, R. "La ecología: entre la vida real y la física teórica" S. Am. 1995 [[Volver](#)]

[REF2] Ingber, D. "Biology geometry" Sc. Am. Jan 1998 [[Volver](#)]

[REF3] Kauffman, S. "Anticaos y adaptación" Sc. Am. 1992 [[Volver](#)]

[REF4] [Herrán Gascón, M. de la "Evolución, estabilidad, inercia y recurrencia"](#) IIEH 2002 [[Volver](#)]

[REF5] Nottale, L. "El espacio tiempo fractal" Sc. Am. Jul 1997 [[Volver](#)]

[REF6] Margalef i Lopez, R. "Diversity and biodiversity. Their possible meaning in relation with wish for sustainable development" An. Acad. Bras. 1994. [[Volver](#)]

[REF7] [Barragán, J. "Las aventuras del capitán Mnemo"](#) Red científica 2004 [[Volver](#)]

[REF8] Prigogyne, I. "Order out of chaos" Bantam books inc. 1984 [[Volver](#)]

[REF9] Margalef i Lopez, R. "Ecología" Ed Omega 1974 [[Volver](#)]

[REF10] [Barragán, J. "Principios generales de la biología"](#) IIEH 2003 [[Volver](#)]

[REF11] [Barragán, J. "El significado de las células fantasma"](#) (pendiente de publicación) [[Volver](#)]

[REF12] Dawkins, R. "¿Tiene sentido la vida fuera de sí misma?" Sc. Am. Enero 1996 [[Volver](#)]

[REF13] Kauffman, S. "At home in the universe" Oxford Univ. Press. 1995 [[Volver](#)]

[REF14] Berry, M. "La fase geométrica" Sc. Am. 1989 [[Volver](#)]

[REF15] [Barragán, J. "El envejecimiento biológico: una teoría general"](#) (pendiente de publicación) [[Volver](#)]

[REF16] Schütz R. "Homöostase und adaptabilität im alter". Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie. 1997 [[Volver](#)]

[REF17] Segev, M. "La fase de Berry en imagen" La Recherche. 1993 [[Volver](#)]

[REF18] Macieira Coelho A. "The implications of the Hayflick limit for aging of the organism have been misunderstood by many gerontologist" Gerontol. 41(2) 1995. [[Volver](#)]

[REF19] Solter, D. "Dolly is a clone-and no longer alone", Nature 394. 1998. [[Volver](#)]

[REF10] Wakayama, T. "Mice cloned from embryonic stem cells", Proceedings of the National Academy of Sciences n° 96. 1999 [[Volver](#)]

[REF21] Kane, G.L. "Experimental evidence for more dimensions reported" Physics Today May 1998 [[Volver](#)]

[REF22] Díaz Pazos, P.T. "A horcajadas en el tiempo" Ed Astrocosmo. Chiloé. (Chile) 2001 [[Volver](#)]

REDcientífica no se hace responsable de las opiniones expresadas por sus colaboradores.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos sin la autorización de sus autores o de REDcientífica.

Gran Vía 67, Of.425. 28013, Madrid (España). Teléfono: (+34) 915476145

E-mail: <http://www.redcientifica.com/cgi-bin/buzon/buzon.pl?id=b1>