La Tesis del Mundo Metabólico

Walter Riofrío Ríos

Resumen

Frente a una tesis sobre el origen de la vida que privilegia la capacidad reproductiva respecto de la capacidad catalítica, la tesis del mundo Metabólico nos plantea una argumentación que, a mi juicio, reivindica el papel importante que juega la propiedad catalítica tanto en las postrimerías de la vida, como en su manutención a lo largo del tiempo. Esta nueva visión sobre la vida, destaca una componente de integración molecular sustancial para la explicación de una evolución que tiende hacia un aumento del orden y la complejidad de los seres vivos. Lo que nos hace pensar en una posible no clausura de las leyes básicas que rigen el decurso del universo.

Introducción

El principal defensor de esta nueva tesis sobre el origen de la vida es el profesor Stuart Kauffman. El primer libro que publica en 1993[1] condensa en gran medida las tesis fundamentales que desde más o menos tres décadas ha venido investigando. El libro "The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution", detalla desde el título la propuesta de Kauffman. En este trabajo me dedicaré a presentar y discutir las principales líneas argumentales de su propuesta, planteando críticamente sus fortalezas y debilidades conceptuales. La pregunta directriz que nos ayudará a identificar el hilo conceptual de las tesis de Kaufmann, es aquella que puede resumirse así: ¿cuál es la fuente del orden que nosotros apreciamos ampliamente presente en los organismos vivos?.

El profesor Kauffman sostiene que la respuesta comúnmente aceptada entre la comunidad de biólogos; es decir, aquella que sostiene -junto con Darwin- que es la selección natural la única fuente fundamental del orden en la naturaleza, no es adecuada. En el libro antes mencionado y en una publicación posterior[2] (de naturaleza más divulgativa), se encargará de brindar una propuesta que para el pensar del biólogo resulta contra intuitiva: *los sistemas biológicos, de manera espontánea, generan de modo extensivo la autoorganización y el orden*. Ultimadamente, sugiere Kauffman, el mundo natural que experimentamos es el producto conjunto tanto de la selección natural como del orden inmanente de los sistemas complejos. Considero que esta propuesta teórica nos impele a un re-pensar de modo radical la teoría biológica contemporánea [3].

Y digo esto por buenas razones. En buena cuenta, la propuesta del profesor Kauffman reclama una ampliación de la teoría evolutiva que incluya tanto a la componente de la selección natural, como también a la componente de la

[1] Kauffman, S. (1993).
[2] Kauffman, S. (1995).
[3] Riofrío, W. (2001).

autoorganización. Entonces, esta ampliación de la teoría evolutiva necesita cumplir con ciertos requisitos que debemos comprender y explicar adecuadamente. Entre los requisitos más importantes tenemos a los siguientes:

a) Se tienen que detallar las propiedades de la autoorganización, que constituyen las bases del orden espontáneo.
b) Tendremos que explorar cómo las propiedades del autoordenamiento permiten -así como hacen posible, y también en ciertas circunstancias limitan-, la eficacia de la selección natural.
c) En vistas de todo ello, nos tendremos que preguntar qué propiedades de los seres vivos son las que en realidad provocan la adaptación. Pues ya no resulta en absoluto creíble que únicamente la acumulación de pequeñas mutaciones ventajosas son las que provoquen el proceso de adaptación.

Podemos así, ampliar la pregunta directriz que formulamos líneas arriba: ¿estamos hablando de propiedades intrínsecas a los seres vivos (las fuentes del orden y la autoorganización) y de propiedades extrínsecas a ellos mismos (los aspectos de la selección natural) que en conjunto y en coordinación "producen" el fenómeno de la evolución?. En el presente trabajo nos dedicamos a deslindar y desenvolver la madeja conceptual que envuelve la primera parte de esta pregunta, junto con las consecuencias que se derivan del vínculo con la segunda parte de la pregunta.

¿El Universo es nuestro Hogar?

Por varias décadas durante el siglo XX, inmediatamente después que se produce un gran salto cualitativo en la investigación biológica, producto de las investigaciones que se dieron entre finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta[4], surge un renovado impulso de la reflexión teórica de la biología efectuado fundamentalmente por investigadores de la talla de Jacques Monod. Precisamente, fue Monod quien impuso como un sello indeleble en la mente de los futuros investigadores en biología las tesis centrales de su libro "El azar y la necesidad" [5].

Darwin había dado inicio con la línea de pensamiento -en donde los procesos azarosos que acompañan ineludiblemente a los mecanismos que provocan las mutaciones [6] generan toda la diversidad y complejidad del mundo biológico-, que se plasma de manera muy convincente en las propuestas de Monod y de otros investigadores.

Y creo que no podría haber sido de otra manera, pues el armazón teórico que se tenía disponible hasta hace más o menos tres décadas, descansaba en las disciplinas biológicas como sólido cimiento de una construcción. Me refiero, a una buena parte de las implicancias dinámicas y de mecánica de fluidos que provenían de la teoría newtoniana; ciertas consecuencias sobre el predominio de los aspectos estocásticos o probabilísticos que se predicen en la mecánica cuántica. No olvidemos

[4] El texto de Judson, H.F. (1980). Es una recopilación de los mejores grupos de investigadores como Hermann Muller en 1921, hasta los famosos Watson y Crick; pasando por Jacques Monod, Linus Pauling, Max Perutz, Maurice Wilkins, Rosalind Franklin, Chargaff, Max Delbrück, Salvador Luria, seguido de un larguísimo etecétera, reuniéndose en los más famosos laboratorios del mundo, como el célebre Cold Spring Harbor Laboratory, el California Institute of Technology, el Rockefeller Institute, King´s College London, entre los más importantes. Un texto muy recomendable.
[5] Monod, J. (1971).
[6] Kazazian, H.H. (1985).

la termodinámica clásica, que nos habla del aumento de la entropía en un sistema aislado como es nuestro universo.

Es así, que en el mencionado libro de Monod asistimos conforme avanzamos en la lectura a planteamientos que a una mirada atenta revelan este armazón de sustento teórico que acabo de mencionar. No nos extraña entonces que una de las frases más famosas que haya acuñado un investigador en biología, se convirtiera en "la concepción teórica" que guiará todas las líneas de investigación experimental posteriores. Me refiero fundamentalmente a la siguiente:

> *"El puro azar, el único azar, libertad absoluta pero ciega, en la raíz misma del prodigioso edificio de la evolución: esta noción central de la biología moderna no es ya hoy en día una hipótesis, entre otras posibles o al menos concebibles. Es la* ***sola*** *concebible, como única compatible con los hechos de observación y experiencia. Y nada hace suponer (o esperar) que nuestras concepciones sobre este punto deberán o incluso podrán ser revisadas." (Monod, 1971 p. 126).*

Desde mediados de los años setenta hasta mediados de los años ochenta (en ciertas partes del planeta incluso hasta hace pocos años), mientras los futuros biólogos efectuaban los estudios de formación necesarios, no dejaban de aparecer en uno u otro contexto las referencias a los trabajos de Monod y de otros investigadores que planteaban similares propuestas (Monod, 1971; Jacob, 1970; Orgel, 1973; Schrödinger, 1944).

No me voy a detener en un análisis y crítica de estas nociones, pues el tema fundamental es la nueva propuesta que nos ofrece Kauffman. Entonces, tenemos que dar inicio con una constatación empírica bastante al alcance de la mano para cualquier habitante del mundo humano: el universo biológico es ampliamente variado, diverso y complejo. Lo que es más, conforme nos remontamos en el vasto árbol de la vida, desde las formas menos evolucionadas hacia las más evolucionadas, nos enfrentamos ante el hecho de poder confirmar que ciertas características se han mejorado (las encontramos más eficientes y eficaces), que ciertos componentes del organismo han cambiado sus diseños para precisamente lograr lo anterior, también nos encontramos con que nuevas características han aparecido conforme nos remontamos en este árbol de la vida.

Si queremos volver algo más especializada esta referencia, nos podemos entonces ubicar en las relaciones entre las especies que son depredadoras respecto de las especies que son presas. También nos podemos referir a lo que ocurre en las especies herbívoras y carnívoras a lo largo de la evolución. Tomando, por ejemplo, una característica como el correr no podemos dejar de maravillarnos sobre lo que se ha venido produciendo conforme las especies mamíferas han venido evolucionando. Basta simplemente mencionar a los caballos, o los felinos; incluso a los marsupiales. Podemos también ampliar nuestro universo e ingresar dentro del ámbito vegetal y constatar lo que ha venido sucediendo en la gran diversidad de especies que existen (y han existido). Y no hablemos de viajar al mundo microscópico para encontrarnos con el reino protista y el reino fungi[7] .

Es claro que en el pasado todo lo que acabo de mencionar ha sido dicho y detallado con gran rigor y especialización, pero siempre se le consideró como una confirmación cada vez más grande del poder y capacidad de la selección natural. No se veía como problemático el que probabilísticamente resultemos, nosotros los seres vivos, un fenómeno del universo casi imposible. No nos dábamos real cuenta (por defender los constituyentes de una teoría sin realizar mayor crítica, que una

[7] Buss, L.W. (1983).

complacida constatación) de la postura poco racional que conllevan las frases que citábamos líneas arriba. Digo poco racional (por no mencionar la palabra "casi dogmático", que viene a ser casi lo mismo) pues si consideramos que una tarea primordial y fundamental de toda teoría dentro de alguna ciencia, no es solamente constatar que sus conceptos básicos y sus leyes se cumplen en la realidad; creo que en realidad esa tarea fundamental es la de explicar lo más adecuadamente posible la realidad que es dominio de esa ciencia. Con esto claro está me introduzco sin quererlo explícitamente en el complicado problema de brindar una respuesta coherente y racional sobre lo que por explicación se debe de entender (me eximo de la tarea citando a expertos sobre el tema: Anscombe, 1993; Gasper, 1990; Hempel, 1965; Kitcher, 1981; Salmon, 1993; Sosa, 1993; Van Fraassen, 1988, entre otros).

Si bien resulta claramente explicado que la selección natural actúa sobre la capacidad de toda especie viva de generar -en base a la componente mutacional que es coextensiva a los mecanismos de expresión de la información genética- variedades con distintos grados de fitness (aptitud) frente a determinados medio ambientes. También es cierto, que la misma selección natural no puede explicar adecuadamente el aumento del orden que se produce en el mundo biológico. Por un lado, frente a una perspectiva molecular nos tenemos que ubicar en aquellos mecanismos que se encuentran produciéndose de manera continua en cada organismo vivo dentro de cada especie biológica. En un segundo lugar, nos tenemos que preguntar por aquellas interrelaciones que se producen igualmente de manera continua entre los individuos de una misma especie, y estos frente a los organismos de diferentes especies; lo que genera el espacio de los mecanismos de co-evolución. En un tercer lugar, habrá que ubicarnos en el armazón teórico que ha venido sosteniendo la ciencia biológica y explorar qué modificaciones o cambios conceptuales se han producido tal que ahora podamos dedicar nuestro análisis a una decidida respuesta a la pregunta sustancial de explicar o, al menos, tener la seguridad de que podremos explicar racionalmente el origen del orden en el universo. Todo esto con vistas a una exploración sobre una alternativa conceptual que compita con la tesis del "mundo del ARN" para brindar explicaciones acerca de cómo pudo haberse originado la vida en nuestro universo. Nosotros creemos que las tesis de Stuart Kauffman (que nosotros le ponemos el nombre tentativo del "mundo Metabólico"), son lo suficientemente rigurosas como para realizar una defensa filosófica que nos muestre sus posibles éxitos.

Las propuestas de Kauffman

Decíamos líneas arriba, que Kauffman considera que la sola referencia en biología a la selección natural para poder explicar el origen y mantenimiento del orden en los organismos vivos, no basta. Para iniciar mi argumentación, quiero exponer un caso que nos puede ayudar, no específicamente a realizar los paralelos que permitan justificar el paso de una teoría a otra, sino más propiamente a poner de manifiesto la disposición anímica y racional que nos mueve a explorar con un análisis imparcial las nuevas propuesta teóricas.

Me refiero a lo que sucedió a principios del siglo veinte en la física teórica. Me voy a permitir realizar una narración libre de cómo entiendo lo que sucedió con el pasaje de la teoría newtoniana a la teoría relativista, dado que es una historia que todos conocemos. Para empezar, nos tenemos que referir a la existencia de las llamadas transformaciones clásicas o galileanas frente a las llamadas transformaciones de Lorentz. Las transformaciones en física son aquel grupo de ecuaciones que nos permiten pasar nuestras observaciones de un sistema de referencia a otro, sin tener nosotros que ubicarnos en ambos sistemas de referencia

para poder realizar las mediciones correspondientes, provocando la manutención de la objetividad en nuestras predicciones. Por poner un ejemplo simple, imaginemos que estamos parados en la Gran Vía de Madrid y observamos a dos automóviles pasar delante nuestro en la misma dirección y sentido, el primero a 80 Kph y el segundo a 60 Kph, si preguntamos cuál sería la velocidad a la que el conductor del segundo automóvil observa alejarse al primero, la respuesta sería rápidamente a 20 Kph. Es debido tanto a las transformaciones clásicas como a las de Lorentz que podemos llegar a la respuesta, sin tener que nosotros estar efectivamente sentados en el timón del segundo automóvil.

Si bien ambas transformaciones logran que las mediciones en distintos sistemas de referencia puedan ser comparables y predecibles, la diferencia sustancial es que la transformación de Lorentz se utiliza en la teoría de la relatividad y la transformación galileana en la física newtoniana. La razón fundamental es que en la transformación de Lorentz existe en el interior de las ecuaciones una referencia explícita a la velocidad de la luz. No nos olvidemos que antes de la postulación de la teoría de la relatividad por Albert Einstein, se había descubierto que la velocidad de la luz era una constante universal; es decir, que no es importante bajo qué sistema de referencia se realicen las mediciones de la velocidad de la luz, ya que siempre será la misma. Esto resulta un hecho concreto de la realidad. Hecho que no consta en la transformación galileana. Por una sencilla razón, y es que hasta finales del siglo XIX no se había encontrado este descubrimiento crucial para el posterior desarrollo de la física contemporánea. Pero vayamos más allá.

Sin ánimos de ser muy esquemáticos, podemos condensar los cimientos básicos de la teoría newtoniana, así como los de la física relativista. Tenemos que lo básico de la teoría newtoniana se resume en lo siguiente:

- Las leyes de la física tienden a ser universales (aunque sabemos que se cumplían perfectamente sólo en los sistemas de referencia inerciales).
- Son las transformaciones clásicas las que me permiten efectuar los cambios de mis observaciones de un sistema de referencia a otro.

- En cuanto a la teoría de la relatividad:
- Las leyes de la física son universales.
- La velocidad de la luz es una constante universal.
- Son las transformaciones de Lorentz las que me permiten efectuar los cambios de mis observaciones de un sistema de referencia a otro.

Fue cuando un investigador se decidió a tomar completamente en serio un hecho de la realidad (la velocidad de la luz), junto con un nuevo esquema matemático más amplio que el anterior, que se produjo una revolución conceptual en la ciencia física. Siempre es mucho más fácil reconstruir conceptualmente la tarea gigantesca que implica la edificación de un aparato teórico que provoca una nueva mirada a la realidad. La mayoría de las veces, cubriendo los mismos ámbitos que las anteriores, pero provocando una nueva visión y perspectiva de lo que hasta hace algunos momentos nos encontrábamos mirando bajo los esquemas conceptuales anteriores. Ello nos permite, cuando menos, una profundización de los mismos fenómenos que nos eran ya cotidianos, tanto así, que comprendemos de modo más integral la realidad. Por otro lado, nos permite descubrir nuevas regularidades y quizá nuevos fenómenos.

Este es el caso que se produjo en la física. Cuando analizamos a las transformaciones de Lorentz de una manera simple nos encontramos con lo siguiente: lo que se encuentra inmerso en el interior de las transformaciones de Lorentz es su referencia explícita a la constancia de la velocidad de la luz; esto genera consecuencias que no se producían en las transformaciones clásicas.

Imaginemos el caso simple de la cinemática. Analicemos lo que le sucede a un móvil en el movimiento uniformemente rectilíneo (en donde no existe la aceleración). La ecuación que relaciona a la velocidad de ese móvil respecto del espacio que recorre y el tiempo que le demanda el recorrer dicho espacio es como sigue:

$$V= ET^{-1} \quad .....(1)$$

Pero podemos representar la misma ecuación de la siguiente manera:

$$T= EV^{-1} \quad .....(2)$$

Suponiendo -como lo hace la mecánica clásica-, que el tiempo es un universal; o lo que es lo mismo el tiempo es el mismo para cualquier observador del universo:

$$T=EV^{-1} \quad y \quad T_1=E_1V_1^{-1} .....(3)$$

Pero como $T=T_1$, en donde tanto E es diferente a E_1 y V es diferente a V_1, tenemos:

$$EV^{-1}=E_1V_1^{-1} \quad .....(4)$$

Sin embargo, cuando tomamos en cuenta a la velocidad de la luz "c" en la ecuación (4):

$$Ec^{-1}=E_1c^{-1} \quad .....(5)$$

Llegamos a la incongruente conclusión que E es igual a E_1, cosa que es falaz. Las relaciones de igualdad se vuelven a re-establecer cuando comprendemos que T *tiene* que ser diferente a T_1. Y claro, las consecuencias que observamos de la existencia de un tiempo relativo a un sistema de referencia (dependiente de la velocidad a la que se encuentra viajando un determinado sistema de referencia), son mayormente conocidas en la actualidad. Sabemos que el tiempo se comporta como un agente causal en nuestro universo generando, entre otras cosas, las consecuencias que resultan de la llamada "paradoja de los gemelos" (es paradoja sí, pero en el interior solamente de la física clásica, por supuesto). No olvidemos los cambios de la geometría del universo, la relación entre energía y materia, ni la concepción de la gravedad, entre otros.

Como vemos, al repasar muy brevemente lo que ocurre en la ciencia cuando nos dedicamos a la reconstrucción teórica nos podemos dar una idea de lo aparentemente simples que resultan las bases conceptuales que se cambian, y lo sorprendentemente revolucionario que ello conlleva. Pero quizá todo esto no se hubiera dado a lugar si el investigador (Einstein, en este caso), no se hubiera comprometido decididamente a aceptar un hecho de la realidad y explorar las consecuencias que se derivarían de esta aceptación respecto (mejor dicho, en contraposición) de nuestra visión de la realidad a la luz de la teoría científica en esos momentos disponible. También, le asegura una comprensión de lo que ese hecho provoca o cuestiona en los cimientos más profundos de la teoría aceptada en esos momentos. Por otro lado, la tarea de edificación de un nuevo esquema teórico le provee de una capacidad predictiva inusual sobre los aspectos fundamentales que tienen que investigarse y sobre el impacto que pudiera tener en aquellas disciplinas conceptualmente emparentadas.

Dicho lo que en realidad pretendía exponer, creo que podemos ahora encarar con esta suerte de disposición positiva o, al menos, sin pretender explorar las

propuestas de Kauffman a la luz de la teoría biológica actualmente disponible. En otras palabras, intentemos escuchar lo que propone Kauffman mirando a la realidad y no "escuchar" a Kauffman desde los esquemas teóricos que se encuentran instalados en la biología.

El orden y la complejidad son hechos

Desde la habitación en que me encuentro redactando estas líneas puedo mirar el armario de uno de mis hijos; observo que uno de los lados de ese armario se encuentra bastante ordenado, mientras que el otro lado está francamente desordenado. Esta observación me lleva a exponer el conjunto de hechos que han provocado que Kauffman (como otros investigadores), se dediquen seriamente al estudio de la noción de orden y la noción de complejidad (intrínsecamente emparentadas).

En el planeta tierra, nosotros tenemos la oportunidad de ser espectadores de los fenómenos físicos macroscópicos, sin que para ello tengamos que adiestrar nuestra mente y nuestra vista en alguna formación científica. Se encuentran allí disponibles para todo aquel que si quiere mirar pueda hacerlo. Sólo es necesario que nosotros nos dispongamos a hacerlo.

Por mencionar sólo uno de los miles de ejemplos en que se pueden observar estados de ordenamiento y complejidad, se me ocurre el caso de las nubes. Cuando nosotros vemos la formación de grandes cúmulos nubosos, quizá lo primero que asoma en nuestras mentes es una disposición estética. Pero también, una mirada inquisidora (característica del *Homo sapiens*) se asoma por nuestras mentes.

Las formas que se nos presentan son bastante diversas entre sí, pero todas sin excepción se encuentran constituidas por moléculas de agua en estado gaseoso. La molécula de agua es una estructura química de naturaleza bastante simple, pues está constituida por dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno. Los enlaces o puentes de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua proporcionan la capacidad en el agua de adoptar en los tres estados de la materia a los que puede acceder; esto es, al sólido, líquido y gaseoso, las propiedades que le confieren sus características químicas tan especiales. No olvidemos que entre una de ellas se encuentra la de comportarse químicamente como el solvente universal.

Volviendo al caso de las nubes, las moléculas del agua unidas entre sí por puentes de hidrógeno en el estado gaseoso, se presentan como una estructura molecular bastante estable. Sabemos que la fuerza de unión del enlace de hidrógeno es bastante más débil que la de un enlace covalente; pero la característica del puente de hidrógeno es que es de naturaleza sumativa. Cuantos más enlaces de hidrógeno se encuentren presentes en una estructura, más cohesionada se encontrará la estructura. Aparte, su capacidad de maleabilidad en el espacio es con mucho bastante más grande que la de un rígido enlace covalente.

El conjunto de variables físicas que se presentan en el aire son muchas, la interacción entre estas variables hacen que las condiciones del clima cambien notablemente en el tiempo. Todas estas interacciones provocan efectos sobre estos cúmulos de estructuras de agua gaseosa dando como resultado el conjunto de formas nubosas que observamos en el firmamento. En principio, no es del todo alejado el que podamos comprender, explicar y predecir las formas nubosas en el futuro, pero ello requiere que podamos conocer explícitamente el conjunto de fuerzas físicas y sus interacciones para lograrlo. Esto pasa por una mejora de nuestros sistemas matemáticos y una capacidad de manejo de un gran conjunto de variables

simultáneamente (cosa que puede no ser tan lejana, dado el desarrollo espectacular de la tecnología de la información en los últimos tiempos).

Pero el tema que quisiera hacer claramente explícito, es aquel que se nos plantea por la observación de los cúmulos nubosos. Desde un punto de vista objetivo, podemos afirmar que los cúmulos nubosos en cualquier lugar del firmamento gozan de grados crecientes de complejidad y ordenamiento, dependiendo de las condiciones ambientales de ese lugar del planeta. En otras palabras, las formas nubosas que surgen en cierto lugar del planeta se encuentran determinadas por las resultantes de las variables físicas del medio ambiente del lugar. Dichas variables, provocarán en la gran rejilla de moléculas de agua que los cientos de millones de puentes de hidrógeno se vayan orientando en el espacio hacia posiciones cambiantes en el tiempo, provocando conformaciones locales (en el interior de la nube como un todo) con nuevas interacciones electrostáticas y de energía cinética diferentes; mejor dicho, micro diferencialmente distribuidas de manera continua o discontinua conforme nosotros recorremos en la escala microscópica a la nube.

Sin embargo, la caracterización completa de lo que le puede suceder a una nube en particular se encuentra bastante alejada de poder ser predicha. Pero esto no significa que no podamos explicar adecuadamente cómo es que una nube puede ser formada y los cambios a los que accede conforme viaja en el firmamento. En otras palabras, la componente predictiva y la componente explicativa del conocimiento no tienen, necesariamente, que ir de la mano. En todo caso, podemos postular grados de explicación y grados de predicción. En el caso de la nube, por ejemplo, podemos ir profundizando en nuestros niveles de explicación científica, desde lo que acabo de exponer hasta, quién sabe, niveles sub-atómicos o termodinámicos (sin caer, claro está, en incompatibilidades lógicas). También podemos, pero ya no con tanta flexibilidad en el caso de la predicción (desde lo que suceda en los próximos milisegundos hasta, tal vez, algunos segundos), pues los aspectos que se encuentran normando los procesos irreversibles nos limitan grandemente nuestra capacidad de predicción.

Dejemos ahora el mundo de los fenómenos atmosféricos y centremos nuestra mirada en el increíble mundo biológico.

Empecemos dando una mirada macroscópica a los seres vivos, y también nos encontramos con una gran diversidad de seres vivientes junto con un creciente grado de complejidad. Existen muchos reinos biológicos, y en cada uno de ellos se observan familias y especies dentro de ellas. Los biólogos incluso postulan que en el pasado existió una mucho mayor diversidad biológica (ver, Maynard Smith, 1993).

Ahora veamos a un individuo de cualquier especie. Dependiendo del reino del que estemos hablando, nos encontramos con una diversidad de estructuras materiales que según los biólogos del desarrollo se derivan de las tres capas germinales que se produjeron a las pocas semanas de haber sido gestado (señalamos a los organismos que se reproducen sexualmente); me refiero al ectodermo, al endodermo y al mesodermo. Por mencionar al ser humano, podemos pasar de órganos como el cerebro, el hígado o los pulmones, por sistemas como el inmune o el circulatorio, hasta características fenotípicas con significación biológica tan ínfima como el color de la piel, la forma y color de los ojos, o del cabello.

En una ulterior profundización, nos encontramos con que cada una de las estructuras antes mencionadas se encuentran constituidas por células. Las células cerebrales o neuronas, las células de la piel o epiteliales, etc. Cada una conteniendo especializaciones funcionales muy específicas. Sin embargo, en una mirada más microscópica nos encontramos que todas ellas, en mayor o menor medida, se encuentran construidas por las mismas estructuras moleculares. Las llamadas macromoléculas de la vida. La célula en realidad es una reunión de estructuras

bastante especializadas. Bástenos referirnos a la mitocondria, los ribosomas, el núcleo (en las células eucarióticas), el aparato de golgi, y otras.

Vemos, entonces, que desde el nivel más unitario de la vida -la célula-, asistimos a una organización bastante diversificada y compleja. Pero ello no termina allí. Para poder entrar de lleno en el análisis de las propuestas de Kauffman, tenemos que ubicarnos en el nivel molecular y conocer de qué componentes moleculares se encuentra formada la célula. Como es de conocimiento general, las macromoléculas básicas de la vida se pueden reunir en estas grandes familias: los ácidos nucleicos (el ADN y el ARN), las proteínas, los carbohidratos y los lípidos.

Las propiedades de la vida pueden asociarse al comportamiento de autoreproducción y al de autorregulación. Desde mediados del siglo XX, se relacionó al ADN y al ARN como las moléculas portadoras de la capacidad autoreproductiva (pues contenían la capacidad de almacenar la información genética). En cambio, la capacidad de autorregulación estuvo asociada a la familia de las proteínas, pues el control fino de la regulación de las vías metabólicas se encuentran bajo el control de una gran variedad de enzimas (las proteínas con propiedades catalíticas). Posteriormente, se adicionó al grupo de las proteínas un grupo de moléculas de ARN con propiedades catalíticas (las ribozimas).

Podemos referirnos a la propiedad que muestra el comportamiento de autoreproducción como la *propiedad replicativa*, y aquella que muestra el comportamiento de autorregulación como la *propiedad catalítica*. De este modo, la vida se origina conteniendo intrínsecamente a ella la reunión de estas dos propiedades. Si bien, las formas vivas deben su persistencia en el universo como una nueva clase de fenómenos físicos a la capacidad de autoreproducirse, también es cierto que *lo que* se reproduce en base a unas estructuras que resultan ser los almacenes de aquello que se reproduce, son *las instrucciones* para formar a un nuevo organismo. Pero esas instrucciones que formarán a ese nuevo organismo, no son otra cosa que las secuencias de las proteínas que corresponden a las especies biológicas como especies. Es decir, que cada vez que un cierto organismo o, de modo más básico, una célula, se reproduce en forma sexual o asexual; en el caso de las células de manera meiótica, o, mitótica, la información genética de esa especie en particular no es otra cosa que el conjunto de proteínas que caracterizan a esa especie y que en el acto de reproducción se concretan en la formación de un individuo de esa especie.

Es este conjunto amplio de proteínas lo que con tanto cuidado se traslada de generación en generación a lo largo del tiempo. Si tuviéramos la oportunidad de pasar una revisión medianamente somera a los sucesivos pasos y mecanismos que constituyen a la reproducción celular (sea esta meiosis, como mitosis), nos quedaríamos realmente asombrados de todo el conjunto de procesos altamente especializados y coordinados que se llevan a cabo cada vez que una célula entra en la etapa de división celular. Estos procesos se nos presentan como dirigidos hacia un objetivo último: *asegurar del modo más eficiente y eficaz que la información genética se traslade minimizando los errores; esto es, evitando lo máximamente posible el surgir de las mutaciones*. El cuidado que representa tal empresa, medido con respecto al conjunto coordinado de acciones de ejecución como de reparación, así como de inversión de energía, es desde el punto de vista humano, digno de elogio. Basta conocer que ello se produce casi cada cuatro meses para todas las células hematíes (los glóbulos rojos); diariamente reemplazamos nuestras células del epitelio (nuestra piel), casi todos nuestros órganos lo hacen también con cierta regularidad. Por no hablar de situaciones de estrés como los accidentes o el que tengamos que enfrentarnos a alguna enfermedad que provoque cuadros de degeneración orgánica.

Este celo por cuidar las instrucciones de las proteínas de una especie, nos debería llevarnos a plantear una sutil capacidad inquisitiva acerca de si la vida no se habrá originado tomando en cuenta como principal factor *aquello que se guarda como*

información genética, antes que considerar como principal guía sobre el origen de la vida *aquello que guarda la información genética.* En otras palabras, que es la propiedad replicativa dependiente de la propiedad catalítica y no a la inversa. Según sostengo en el presente trabajo, las tesis de Kauffman descansan en la propuesta genérica que produciéndose las instanciaciones de la propiedad catalítica, la instanciación de la propiedad replicativa surge como consecuencia. Todo esto claro está, referido a lo que por propiedades de la vida debemos entender. Pues, en el campo de la química tenemos a compuestos que son catalíticos como compuestos que son replicativos (los cristales, por ejemplo). La instanciación de la propiedad catalítica en el marco de la vida, se refiere al surgir de un comportamiento similar a un metabolismo (de ahí que tentativamente haya bautizado a la tesis de Kauffman, como "la tesis del mundo metabólico") [8].

Exploración de las evidencias experimentales

Para empezar con la argumentación, quisiera brindar una cita que pude obtener de uno de los centros de investigación en ciencias biomédicas más importantes de los Estados Unidos, me refiero al Instituto Skaggs:

> *"¿Cuáles son las propiedades fundamentales que distinguen la química de los sistemas vivientes, los cuales muestran características animadas, de aquello inanimado de las transformaciones químicas in vitro? Los avances recientes en el entendimiento matemático de los sistemas complejos no-lineares, la química, la biología molecular, y las ciencias analíticas nos están permitiendo una nueva, amplia y única forma de atacar los fundamentos del entendimiento de los procesos vivientes".*[9] *(el subrayado es nuestro)*

La mención del Instituto Skagg, viene vinculada a que Kauffman tenía la convicción de que pronto, en algún laboratorio, se podría empezar a confirmar experimentalmente alguna (s) de las propuestas que defiende (Kauffman, 1995 p. 337-341). Pues bien, en 1996 se confirma por primera vez la existencia de un péptido con capacidad autoreplicativa[10]. Pero la referencia específica al Instituto Skagg, es que dentro de los múltiples laboratorios y líneas de investigación se encuentra el laboratorio de "La autoorganización de redes autocatalíticas" (*Self-Organized Autocatalytic Networks Laboratory*), que contiene entre sus líneas directrices para su desarrollo lo siguiente:

> *"La aproximación que nosotros tomamos en nuestro laboratorio se funda en las siguientes premisas. Los sistemas vivos son visualizados como entidades autónomas auto-reproductivas que operan sobre la base de "la información". La información es originada al nivel molecular por la química covalente, transferida y procesada a través de la química no-covalente, expandida en complejidad al nivel del sistema, y en último término cambiada a través de la reproducción y la selección natural. En un sistema viviente, la*

[8] Riofrío, W. (1998).
[9] "What are the fundamental properties that distinguish the chemistry of living systems, which gives rise to animate characteristics, from inanimate in vitro chemical transformations? Recent advances in the mathematical understanding of complex nonlinear systems, chemistry, molecular biology, and analytical sciences are allowing a new, broad, and unique attack on the fundamental understanding of living processes". (www.scripps.edu/research/scirpt/skaggs97/#top).
[10] Lee, D. H., et.al. (1996).

compleja armonía formada -por la información no-linear molecular, junto con la transferencia de procesos que se piensa provocan un coherente sistema químico autoorganizado, y una colectividad de especies moleculares interactuantes e interdependientes, un "ecosistema molecular"-, tomada en su conjunto puede desplegar el surgir de propiedades emergentes mucho mayores que la simple suma de sus constituyentes químicos. Por consiguiente, para entender y finalmente imitar las propiedades de sistemas vivientes, nosotros debemos empezar definiendo las formas básicas de autoorganización de redes químicas autocatalíticas, cómo las redes pueden construirse, y cómo la interacción de información y catálisis no-linear puede llevar a la expresión de propiedades emergentes.[11]

Otro hecho importante que merece ser destacado, es que en este mismo Instituto se ha reportado la existencia de anticuerpos con capacidad catalítica ("abzimes" de antibodie)[12,13,14,15,16]. Pues entre las diversas líneas de investigación, se encuentran las que se llevan a cabo en los laboratorios: Antibody-Catalyzed Organic and Organometallic Transformations; Antibody Catalysis and Combinatorial Chemistry; Design of Biocatalysts y esta situación no hace más que confirmar lo que ya Kauffman se encargaba de difundir sobre trabajos similares iniciados en 1986 (Kauffman, 1993 p. 299).

Estos resultados en la experimentación biológica, así como esta renovada actitud científica en ciertos centros de investigación nos plantean del modo más explícito posible que este re-pensar la biología y los caminos para la investigación que mencionaba varias líneas anteriores, empieza a concretarse y a brindar los frutos que Kauffman estaba seguro que se producirían (la inusual capacidad predictiva que mencionaba).

Son diversas las cuestiones que pueden plantearse. De partida, nos parecen ahora lejanos los tiempos en que las líneas teóricas directrices que se derivaban de la cita anterior de Monod sean actualmente las que comanden la investigación en biología. Aunque todavía no se han difundido ampliamente, estamos convencidos que en los próximos años serán universalmente aceptadas.

La visualización sobre los seres vivos mencionada en la cita anterior, tiene una clara inspiración basada en las propuestas de Kauffman y otros investigadores que laboran en el Instituto Santa Fe. Es esta nueva disposición que anima a los investigadores del Instituto Skagg, lo que les ha llevado a la ampliación de líneas de

[11] "The approach that we have undertaken in our laboratory is founded on the following premises. Living systems are viewed as autonomous self-reproducing entities that operate on the basis of "information." Information is originated at the molecular level by covalent chemistry, transferred and processed through noncovalent chemistry, expanded in complexity at the system level, and ultimately changed through reproduction and natural selection. In a living system, the complex blend of nonlinear molecular information-transfer processes is thought to bring about a coherent self-organized chemical system--a collective of interacting and interdependent molecular species, a "molecular ecosystem"--that as a whole can display emergent properties far greater than the simple sum of its chemical constituents. Therefore, to understand and ultimately mimic the properties of living systems, we must begin defining the basic forms of self-organized autocatalytic chemical networks, how the networks can be constructed, and how the interplay of information and nonlinear catalysis can lead to the expression of emergent properties". www.scripps.edu/research/scirpt/skaggs97/#top

[12] Lo, C.-H.L., et. al. (1997).

[13] Lo, C.-H.L., et. al. (1996).

[14] Lin, C.-H., et. al. (1997).

[15] Lavey, B.J., Janda, K.D. (1996).

[16] Janda, K.D., et. al. (1997).

investigación que comienzan a rendir los descubrimientos en la realidad biológica que antes ni se pensaban.

De otro lado, el aceptar como un hecho concreto y real que tanto la auto-organización y la complejidad son componentes constitutivos de los seres vivos, les ha permitido cuando menos disminuir el peso relativo de la selección natural en la concepción teórica del mundo biológico. Empezamos, entonces, a dar inicio con un deslinde claro de aspectos normados tanto por la química, la fisicoquímica, la bioquímica y la fisiología de los seres vivientes que parece necesitan de investigar nuevas aproximaciones (la autoorganización de redes químicas autocatalíticas, la interacción de información y catálisis no-linear, la estructuración de la complejidad al nivel del sistema, un avance en el entendimiento matemático de los sistemas complejos no-lineares, la química, la biología molecular, entre otros), de los aspectos en que la selección natural muestra su acción. En otras palabras, apreciamos que el mismo conjunto de fenómenos y procesos acompañados de mecanismos moleculares, que son conocidos actualmente y que forman parte de la enseñanza estándar en las múltiples sub-disciplinas de las ciencias biológicas y químicas, se analizan desde una nueva óptica: corresponden al desenvolvimiento de ciertas uniformidades de la naturaleza que hasta ahora no sabíamos que necesitaban investigarse. Y esto implica pasar por una revisión y profundización de aspectos tan variados como la noción de enlace covalente y no-covalente en poblaciones moleculares; las nociones que vinculan los conceptos de información y entropía en sistemas irreversibles; reconocimiento e interacción molecular; integración de redes moleculares; re-pensar la interacción entre energía y materia para la producción de trabajo; considero que deben haber más aspectos, pero ello requiere realizar una inmersión seria y prolongada en el interior de estas ciencias.

Con respecto al mundo viviente, nos enfrentamos a la exploración de nuevas regularidades que harían de nosotros los seres vivos un fenómeno físico del universo ampliamente esperado. Que nosotros somos un fenómeno derivado naturalmente de las leyes inscritas en los procesos de formación del universo, tan igual como lo son la aparición de galaxias o estrellas. Aquí, por supuesto, me estoy refiriendo a la no clausura de las leyes básicas que actualmente disponemos.

Hasta el momento presente nos vemos ante la imposibilidad de construir un sistema matemático que pueda expresar adecuadamente el campo unificado que predice la teoría de la relatividad; esto es, la unificación del campo fuerte, el campo débil, el campo electromagnético y el campo gravitatorio. Pero, sin embargo, estoy seguro que los investigadores en la física teórica siguen buscando incansablemente el conjunto de ecuaciones matemáticas que lo represente. Por otro lado, no nos es ajeno el debate que se inició desde mediados del siglo XIX hasta el momento actual en lo que respecta a la termodinámica.

Recordemos que las leyes que señalan el cambio de estado entrópico, endergónico o exergónico, adiabático, etc, fue en sus primeros momentos aplicados exclusivamente a las máquinas de vapor. Por ese entonces, se pensó que estas leyes eran de tercera o cuarta categoría; que eran leyes de funcionamiento de realidades muy restringidas en el universo. Hoy en día sabemos que esas primeras reflexiones estaban completamente erradas pues, prácticamente todo aquello que contiene un cúmulo apreciable de moléculas en el universo se rige por estas leyes de la termodinámica. Como una nota curiosa, recuerdo que entre finales de la primera mitad y comienzos de la segunda mitad del siglo XX, se especulaba que nosotros los seres

vivos éramos algo así como una violación de la segunda ley de la termodinámica; debate que fue totalmente cerrado con los trabajos de Ilia Prigogine[17].

Vemos que el universo de aplicación de ciertas leyes que se descubrieron hace algún tiempo, han visto con el correr de los años ampliar su rango de influencia y normatividad. También vemos que conforme el conocimiento científico profundiza en la realidad, nuevas leyes del universo se han descubierto. ¿Porqué no pensar que todavía no hemos descubierto todas las leyes básicas del universo? ¿Serán alrededor de trescientos cincuenta años los suficientes para estar completamente seguros que nuestros más excelsos investigadores han agotado el descubrimiento de todas y cada una de las leyes básicas que gobiernan los fenómenos físicos y sus interrelaciones? Es a este respecto en que me encuentro ante la posibilidad de plantear unas ciertas dudas razonables.

Para terminar, sólo me falta poner el acento en que estas nuevas líneas de investigación en la biología nos han llevado a descubrir que Kauffman estaba completamente en lo cierto cuando postulaba que una buena parte de los compuestos biológicos pueden adquirir la propiedad catalítica. El descubrimiento primero de un péptido y después de una variedad de anticuerpos (ambos pertenecientes a la gran familia que engloban los aminoácidos), confirman sus predicciones. De otro lado, también nos damos cuenta de que en el momento que cierto grupo de investigadores adopta la disposición de "*mirar la realidad a partir de otras maneras de ver lo mismo*", surgen nuevos descubrimientos y nuevas líneas de investigación. Por último, estamos empezando a constatar que las nociones internalistas (las propiedades intrínsecas al ser vivo que actúan de manera dinámica en su preservación) son ahora estudiadas con mayor detalle que en el pasado respecto de una posición externalista exclusiva que privilegiaba en grado sumo el papel de la selección natural.

BIBLIOGRAFÍA

- Anscombe, E. (1993) Causality and Determination. En: Ernest Sosa and Michael Tooley (editores), *Causation*. New York: Oxford University Press, pp. 88-104.
- Buss, L.W. (1983) Evolution, development and the units of selection. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 80: 1387-1391.
- Gasper, P. (1990) Explanation and Scientific Realism. En Dudley Knowles (editor), *Explanation and its Limits*. New York: Cambridge University Press, pp. 285-295.
- Hempel, C. (1965) *Aspects of Scientific explanation*. New York: The Free Press.
- Jacob, F. (1970) *La logique du vivant*. Gallimard, Paris.
- Janda, K.D., Lo, L.-C., Lo, C.-H.L., Sim, M.M., Wang, R., Wong, C.-H., Lerner, R.A. (1997) Chemical selection for catalysis in combinatorial antibody libraries. *Science* 275:945.
- Judson, H.F. (1980) *The Eighth Day of Creation*. Touchstone Book. New York.
- Kauffman, S. (1993) *The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press. New York, Oxford.

[17] Prigogine, I.; Stengers, I. (1979).

- Kauffman, S. (1995) *At Home in the Universe. The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford University Press. New York, Oxford.
- Kazazian, H.H. (1985) The nature of mutation. *Hosp. Pract*. 20:55.
- Kitcher, P. (1981) Explanatory Unification. *Philosophy of Science*. 48: 507-531.
- Lavey, B.J., Janda, K.D. (1996) Antibody catalyzed hydrolysis of a phosphotriester. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 6:1523.
- Lee, D. H., et.al. *Nature* **382** 525-528 (1996).
- Lin, C.-H., Hoffman, T.Z., Wirsching, P., Barbas, C.F., Janda, K.D., Lerner, R.A. (1997) On roads not taken in the evolution of protein catalysts: Antibody steroid isomerases that use an enamine mechanism. *Proc. Natl. Acad. Sci.* U.S.A. 94:11773.
- Lo, C.-H.L., Gao, C., Mao, S., Matsui, K., Janda, K.D. (1996) Chain shuffling: Investigations into the specificity and selectivity of antibody catalysis. *Isr. J. Chem.* 36:195.
- Lo, C.-H.L., Wentworth, P., Jung, K.W., Yoon, J., Ashley, J.A., Janda, K.D. (1997) Reactive immunization strategy generates antibodies with high catalytic proficiencies. *J. Am. Chem. Soc.* 119:10251.
- Maynard Smith, J. (1993) *The Theory of Evolution*. Cambridge University Press.
- Monod, J. (1971) *El Azar y la Necesidad.* Barral Editores. Barcelona.
- Orgel, L. (1973) *The origins of life*. Wiley, New York.
- Prigogine, I.; Stengers, I. (1979) *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la Science*. Éditions Gallimard.
- Riofrío, W. (1998) La Vida en sus Orígenes: Las Propiedades Básicas. *Proceedings of the 20th World Congress of Philosophy*, August 1998, Boston/MA [la versión completa se encuentra disponible en: [http://www.bu.edu/wcp/Papers/Scie/ScieRiof.htm]
- Riofrío, W. (2001) ¿Complejidad o simplicidad?: En busca de la unidad de la ciencia. *A Parte Rei: Revista de Filosofía*. *N.* 16 [la versión completa se encuentra disponible en: [http://serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/complejo.pdf].
- Salmon, W. (1993) Probabilistic Causality. En: Ernest Sosa and Michael Tooley (editores), *Causation*. New York: Oxford University Press, pp. 137-153.
- Schrödinger, E. (1944) *What is life?* Cambridge University Press.
- Sosa, E. and Tooley, M. (1993) *Causation*. New York: Oxford University Press, pp. 1-9.
- Van Fraassen, B.C. (1988)