

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

**Doctorado en Filosofía**

**“Sobre el origen de las propiedades  
funcionales y otros principios en  
biología”**

**TESIS DOCTORAL**

**WALTER RIOFRÍO RÍOS**

**2012**

Director: Jordi Vallverdú Segura

Dedicado a Silvia, mi esposa

## **Agradecimientos**

La culminación de esta tesis fue posible, en primer lugar, gracias al sostenido y constante apoyo de mi director Jordi Vallverdú. Fueron sus comentarios y críticas -todos ellos muy certeros-, los que me mantuvieron siempre focalizado en las argumentaciones y análisis de los diferentes capítulos. También, debo la culminación de mi escrito doctoral, a las continuas muestras de increíble apoyo y cariño que he recibido durante todo este tiempo, de parte de Silvia, de Gabriel y de Miguel, mi esposa y mis dos hijos.

## Publicaciones

---

- Riofrio, W. (2007) Informational Dynamic Systems: Autonomy, Information, Function. In C. Gershenson, D. Aerts, & B. Edmonds (eds.) *Worldviews, Science, and Us: Philosophy and Complexity*. World Scientific, Singapore, pp. 232-249.
- Riofrio, W. (2008) Understanding the Emergence of Cellular Organization. *Biosemiotics*, 1(3): 361-377.
- Riofrio W., Aguilar L.A. (2010) Different Neurons Population Distribution correlates with Topologic-Temporal Dynamic Acoustic Information Flow. In A.A. Minai, D. Braha & Y. Bar-Yam (eds.) *Unifying Themes in Complex Systems (New England Complex Systems Institute Book Series: Volume VI*, pp. 227-234.
- Riofrio W. (2010) On Biological Computing, Information and Molecular Networks. In J. Vallverdú (ed.) *Thinking Machines and the Philosophy of Computer Science: Concepts and Principles*. IGI Global, pp. 53-65.
- Riofrio W. (2011) A Molecular Dynamic Network: Minimal Properties and Evolutionary implications. In M.Burgin & G. Dodig-Crnkovic (eds.) *Information and Computation: Essays on Scientific and Philosophical Understanding of Foundations of Information and Computation*. World Scientific, pp.307-330.
- Riofrio W. (2012) Studies on Molecular Mechanisms of Prebiotic Systems. *Found Sci*, 17(3): 277-289.
- Riofrio W. (2012) Information, Biological and Evolutionary Computing. In *ACM Ubiquity Symposium on "Evolutionary Computation"*. Forthcoming.

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>I</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
I.A	El problema del mundo prebiótico.....	7
I.B	Contribuciones originales y estructura de mi tesis.....	10
<b>1</b>	<b>La Era Prebiótica y los Sistemas Dinámicos Informativos</b>	<b>12</b>
1.1	Preliminares.....	13
1.2	Los Sistemas Dinámicos Informativos.....	18
1.3	Dinámica del mundo prebiótico.....	27
1.4	Organización del sistema dinámico informativo.....	34
1.5	Emergencia de la Información y la Función Biológicas.....	43
<b>2</b>	<b>El Origen de la Información Biológica</b>	<b>52</b>
2.1	Introducción.....	53
2.2	Una propiedad global: Autonomía.....	58
2.3	Sobre los Signos en Biología.....	64
	2.3.1 Emergencia y Procesos Biológicos.....	65
	2.3.2 Signos, Información y Procesos en Biología.....	120
2.4	La Información Biológica y el Significado.....	123
	2.4.1 Información-con-Significado.....	132
2.5	La Información Biológica como Bio-Significado.....	140
	2.5.1 Información Biológica y Redes Moleculares.....	141
2.6	La Dinámica de la Bio-Información.....	146
<b>3</b>	<b>El Origen de la Función Biológica</b>	<b>157</b>
3.1	Introducción.....	158
3.2	Conceptos de Función en Biología.....	159
3.3	Teorías de la Función.....	162
	3.3.1 La aproximación etiológica.....	163
	3.3.2 La aproximación sistémica.....	169
3.4	Usos del concepto de función en biología.....	179
3.5	La teoría organizacional de las funciones.....	188
3.6	El origen de las funciones en la era prebiótica.....	202

<b>4</b>	<b>Reflexiones sobre la Evolución Prebiótica</b>	<b>206</b>
4.1	Introducción.....	207
4.2	Dinámica Molecular de la Evolución Microbiana.....	210
4.3	Condiciones para Simular Protocélulas Auto-Replicantes.....	217
4.4	Dinámica Celular en el Origen de la Evolución Prebiótica.....	223
	4.4.1 Evolución Prebiótica temprana.....	231
4.5	Sobre Computaciones Biológicas y Redes Moleculares.....	238
	4.5.1 Investigando aspectos de las Computaciones Biológicas.....	241
	<b>Conclusiones</b>	<b>253</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>269</b>

# **INTRODUCCIÓN**



Parece acertado afirmar, que en la actualidad existe un gran consenso entre la mayoría de los científicos, acerca del origen de la vida en la Tierra.

En términos generales, se acepta que la vida se originó a partir de la materia inanimada, y a través de un aumento espontáneo y gradual de la complejidad molecular, se produjeron las primeras estructuras auto-reproductivas.

Sobre la naturaleza exacta de estas primeras entidades auto-reproductoras, es en donde empieza la gran discordia en el interior de la comunidad científica. Muestra de ello, se pueden mencionar, a modo de ejemplo, algunos libros que se han desarrollado sobre el origen de la vida: Cairns-Smith 1985; Thomas et al. 1997; Brack 1998; Dyson 1999; Maynard Smith and Szathmáry 1999; De Duve 2002; Ganti 2003; Luisi 2006.

Un intento de respuesta sobre las posibles entidades auto-reproductoras, afirma que la vida pudo haberse originado a partir de un tipo de molécula replicante. Quienes defienden esta hipótesis, están pensando en un bio-polímero ancestral del ADN.

Así, tenemos a la famosa hipótesis del 'mundo del ARN' de Gilbert (1986). También, se encuentran las hipótesis de aquellos posibles bio-polímeros auto-reproductores, que pudieron haber surgir antes, como paso previo para la aparición de este mundo del ARN.

Existen varias alternativas para estas moléculas primigenias, como la hipótesis del mundo del ANP (ácidos nucleicos peptídicos: Wittung et al. 1994). Otras posibles son, los ácidos nucleicos de treosa (Orgel 2000; Watt 2005) y, más recientemente, otras variedades de

bio-polímeros auto-reproductores: la propuesta de seis bio-polímeros genéticos alternativos (Pinheiro et al. 2012).

Además, dicha propuesta sobre el origen de la vida, supone que las complejas redes moleculares llegaron mucho más tarde, y que fueron instruidas genéticamente por estos polímeros replicantes.

Y esto último, se debe a que se sostiene que el almacenamiento y procesamiento de la información genética, recaen ambos en sólo dos polímeros: el ADN y el ARN.

A lo que, a renglón seguido, se añade la hipótesis que son estas moléculas las portadoras de la conservación y la propagación de la información molecular (Pinheiro et al. 2012).

Y se supone que el refinamiento de esa información, se produce a través de la experiencia y la supervivencia diferencial. Ya que fundamentalmente, la genética, proporciona un mecanismo para la memoria molecular y, de este modo, resultaría ser la base de la evolución darwiniana (Joyce 2012).

En palabras breves, esta aproximación dedica todo su esfuerzo en determinar las características y propiedades de una entidad molecular, en condiciones de aislamiento en experimentos '*in vitro*', y se utiliza como marco evolutivo, el mecanismo de selección natural darwiniano (Brudno et al. 2010).

La segunda alternativa para visualizar las características de las entidades auto-reproductoras, es un escenario que afirma que las primeras entidades replicantes, deben haber constituido redes moleculares complejas desde el principio.

A diferencia de la primera vía de respuesta, lo que podemos denominar el escenario *'primero las redes moleculares'*, se centra en el estudio del gran desafío que implica ahondar en la comprensión de los principios de organización de los sistemas complejos (Kauffman1993; Holland1995).

Tomando en cuenta las condiciones, que de manera genérica, pudieron haberse producido en eras prebióticas, esta alternativa propone que resulta más factible que conjuntos de moléculas orgánicas simples ingresaran en dinámicas de auto-organización, y que fueran capaces de auto-reproducirse. En lugar, de la alternativa que propugna la aparición espontánea de polímeros con propiedades informacionales, capaces de producir copias de sí mismos, y que pudieran haber ingresado en dinámicas de evolución tipo la selección darwiniana.

Además, esta segunda alternativa sugiere que la capacidad de tales conjuntos moleculares para que lleven a cabo un proceso de replicación o reproducción, es una consecuencia directa de ciertas propiedades de las redes moleculares, paralelas a aquellas que permiten a las actuales células dividirse y engendrar su progenie (Shenhav et al. 2005).

Las investigaciones que se vienen realizando desde hace más de una década en la naciente biología de sistemas, han permitido un mayor entendimiento sobre la naturaleza y las propiedades que contienen las redes biológicas (Alm and Arkin 2003; Barabasi and Oltvai 2004; Prescher and Bertozzi 2005; Barabasi 2009; Fischbach and Krogan 2010; Ideker and Krogan 2012).

Incluso, desde la visión de una biología de sistemas, se puede hacer uso de un gran arsenal de conceptos para una aproximación más integral de lo biológico:

“...desde el desarrollo de la biología del sistemas - la biología se ve en términos de la teoría de sistemas, a saber, el sistema biológico integral, estudiado en toda su complejidad: la proteómica, la genómica, las redes y los sistemas no lineales, etc. Esto ha dado lugar, a un renacimiento de los estudios teóricos y experimentales de la complejidad química -como la auto-organización, las propiedades emergentes, la autocatálisis- conceptos que ya estaban con nosotros y que, sin embargo, hoy en día han adquirido una nueva importancia...”<sup>1</sup>

Y es el estudio de las redes biológicas, lo que se encuentra en el corazón de las actuales líneas de investigación, tanto en la biología de sistemas, como en la biología computacional (Milo et al. 2004; Basler et al. 2012).

En efecto, progresos muy significativos se han realizado en los estudios que abordan la topología y la estructura de las redes

---

<sup>1</sup> “...from the development of system biology – biology seen in terms of system theory, namely the whole biological system studied in its entire complexity: proteomics, genomics, networks and non linear systems, and so on. This has brought about a revival of theoretical and experimental studies on chemical complexity, like self-organization, emergent properties, autocatalysis – concepts that were already with us, that however have acquired nowadays a new importance...” (Luisi 2004, p. 1).

celulares, y su relación tanto con la organización, y el funcionamiento celular.

Sin embargo, hasta hace poco tiempo estas investigaciones se habían producido desde una perspectiva estática de las redes celulares, a pesar de conocerse que las redes biológicas cambian con el tiempo, el contexto y las condiciones extracelulares.

Esta figura ha cambiado notablemente, pues se vienen desarrollando recientemente métodos computacionales que permitirían elucidar las dinámicas envueltas, en los distintos tipos de interacción molecular presentes en las redes celulares (Berger-Wolf et al. 2010; Przytycka et al. 2010; Ideker and Krogan 2012).

Es en este gran contexto de una perspectiva de las ciencias de la complejidad -en el campo de la biología de sistemas-, que se enmarca la presente tesis doctoral.

Inmerso en este armazón conceptual de la visión sistémica, el propósito central de mi investigación, será el de aproximarme conceptualmente al mundo prebiótico.

El objetivo central de mi trabajo de investigación doctoral, es construir un modelo conceptual, que explore los antecedentes del origen de la vida.

Es decir, elaboraré una argumentación que se centrará en la época anterior, al origen de las primeras formas de sistemas celulares modernos.

Estoy convencido, que en estos tiempos en que un sector de los investigadores de las ciencias biológicas, empiezan a trabajar en grupos multidisciplinarios con investigadores de las ciencias de la

computación, existe la necesidad del concurso de especialistas de la filosofía de la ciencia, en particular, de filósofos de la biología, para contribuir en la elaboración de propuestas viables conceptualmente y con gran rigor argumentativo, y que puedan, con posterioridad, tener la factibilidad de traducirse a un lenguaje algorítmico para simulaciones de estos sistemas, y/o quizá ser la base para la elaboración de protocolos, en posibles experimentos de laboratorio.

Una pequeña contribución en esta empresa investigativa, trata de ser la propuesta de este mi constructo de sistema prebiótico.

El sistema dinámico prebiótico conceptual que propongo, nos permitiría tener una visión más clara de lo que pudo haber sucedido entre los momentos que significaron la transición de los fenómenos inanimados -gobernados por las leyes de la física, la química, la fisicoquímica-, y los momentos en que ciertos fenómenos naturales se encaminaron hacia las formas fenoménicas, que se encuentran precediendo la aparición de las primeras entidades vivas en la tierra.

### **El problema del mundo prebiótico**

Como mencionaba al principio de esta presentación introductoria, si bien los estudios sobre el problema del origen de la vida son muy numerosos (una pequeña lista de libros sobre este tópico fue mencionada en la primera página), de manera contraria, los estudios sobre los albores del mundo prebiótico todavía son escasos.

Conforme han ido avanzando las investigaciones que se dedican a explorar las posibilidades de síntesis abiogénica de las

macromoléculas más fundamentales de los organismos vivos, se ha hecho ineludible el concurso de químicos, geólogos y astrónomos.

En primer lugar, reconstruir geológicamente el escenario primordial que estuvo presente en la tierra hace alrededor de 4 mil millones de años -tiempo durante el cual la mayor parte de las evidencias directas han sido destruidas, o han sufrido fuertes cambios-, no ha podido brindarnos un conocimiento sobre las condiciones exactas bajo las cuales surge la vida en la tierra.

Con estas posibles condiciones propuestas por los geólogos, los investigadores en química, investigan las posibles vías de cómo las moléculas orgánicas, y biomoléculas podrían ser formadas en ambientes de este tipo.

Asimismo, se dedican a explorar las condiciones de cómo podrían haber interactuado estas biomoléculas y moléculas orgánicas. Estudiando, a continuación las maneras en que pudieron ingresar en dinámicas moleculares de complejización, hasta alcanzar los así llamados 'sillares de construcción', en el origen mismo de las primeras formas de vida (Fitz et al. 2007; Krammer et al. 2001).

De otro lado, los investigadores en biología, comienzan sus especulaciones partiendo de las macromoléculas que actualmente conforman a los sistemas vivos, y mediante pasos de creciente simplicidad, postulan posibles entidades moleculares ancestrales, que pudieran ser las portadoras de las capacidades que les permitiría evolucionar hasta las entidades actuales (Ingber 2000; Fishkis 2007; Hazen and Deamer 2007).

Y ciertamente, una alternativa reciente, la conforman las investigaciones en astronomía, en la búsqueda de asteroides, o meteoritos que podrían haber influido en el origen de la vida, pues podrían haber traído algunas moléculas de importancia para la evolución prebiótica (Sandford 2008; Herd et al. 2011).

Tomando en consideración, los desarrollos que se han producido en estas perspectivas de aproximación al origen de la vida, me encaminaré a diseñar mi constructo teórico en el interior del marco conceptual sistémico.

Y para ello, ubicaré mis cuestionamientos en los posibles mecanismos, capacidades de conectividad y potencialidad evolutiva, de aquellos fenómenos dinámicos ancestrales que pudieron haberse producido, en la emergencia de las primeras conexiones de redes moleculares (Pfeiffer et al. 2005; Bradford and Dill 2007).

Conjuntamente con lo anterior, me las veré con las posibilidades de que una mínima complejidad, haya estado presente en esos momentos de inicio de la fenomenica prebiótica.

De este modo, exploraré las posibilidades que brindaron las condiciones de esas épocas en cuanto a las estructuras prebióticas, que fueron capaces de poder haber ingresado a ciertas dinámicas de auto-organización.

De manera tal, que todo lo anterior pudo llegar a comportarse como las condiciones, que permitieron que se originara la formación de los primeros sistemas protocelulares (Bachman et al. 1992, Thomas and Rana 2007).



## Contribuciones originales y estructura de mi tesis

Considero muy importante dejar constancia desde el principio, que el sistema dinámico prebiótico que presentaré, propone aspectos importantes en las características, o propiedades más importantes que constituyen a los sistemas biológicos.

Después de realizar la exposición, argumentación y defensa de mi modelo de sistema dinámico, en los capítulos subsiguientes, me dedicaré a la elaboración y explicitación de las consecuencias conceptuales que se derivan de mi constructo teórico.

De este modo, he dividido a mi tesis en cuatro capítulos.

El primer capítulo, lleva por nombre ***“la era prebiótica y los sistemas dinámicos informacionales”***. El objetivo central de este primer capítulo, es desarrollar una investigación conceptual en el interior del mundo prebiótico.

En este apartado de mi tesis, propongo abordar la era prebiótica, desde una hipótesis de trabajo que considera a esos remotos tiempos conteniendo una relativamente continua secuencia de sistemas que marcaron el rumbo hacia el origen de las primeras formas de vida.

Como punto importante de este capítulo, propongo a los ***sistemas dinámicos informacionales***. Este tipo de sistemas, constituiría aquel tipo de sistema ancestral que probablemente abrió las puertas del mundo prebiótico.

El segundo capítulo, lleva por nombre ***“el origen de la información biológica”***. Me propongo en este segundo capítulo,

estudiar la noción de información biológica, hasta qué punto, la noción de información genética, es equivalente a la noción de información biológica.

A continuación, estudiaré las relaciones que se establecen entre los signos, la información, la materia y la energía del universo, en el interior de una aproximación naturalista. Para terminar, nos preguntaremos si existe alguna relación entre las nociones de información biológica y el significado.

El tercer capítulo, lleva por nombre **“el origen de la función biológica”**. En este capítulo, realizaré una fundamentación filosófica, acerca de lo central que constituye el concepto de función, y que constituye una de las características más básicas de los sistemas vivientes.

Postularé un posible escenario en la evolución prebiótica, tal que me lleve a sostener que el origen de la evolución prebiótica, está asociado con el origen de la función biológica.

El cuarto y último capítulo, lleva por nombre **“reflexiones sobre la evolución prebiótica”**. En este capítulo final, me dedico a estudiar el conjunto de características especiales que podrían tener las redes moleculares que constituyen a los sistemas vivos.

En especial, trataré de discernir el tipo de dinámica evolutiva que pudo haberse producido en la era prebiótica. Y de este modo, me permitirá brindar ciertas luces acerca de lo novedoso que se revela en el conjunto de aspectos que portan las computaciones naturales, propias de los sistemas vivientes.

# **Capítulo 1.**

## **La Era Prebiótica y los Sistemas Dinámicos Informativos**

El propósito de este primer capítulo es conducirnos hacia una exploración conceptual en el interior del mundo prebiótico. Mundo al que consideramos estuvo hecho de una relativamente continua secuencia de sistemas que nos encaminaron hacia el origen de las primeras formas de vida. De este modo, proponemos a los sistemas dinámicos informativos. Este tipo de sistemas, constituiría aquel tipo de sistema ancestral que definitivamente abrió las puertas del mundo prebiótico.

## 1.1 *Preliminares*

Resulta importante mencionar desde el principio, que los llamados fenómenos de auto-organización caracterizan a múltiples tipos de sistemas dinámicos.

Y otro aspecto clave a resaltar, es que podemos encontrar a estos tipos de sistemas dinámicos en diferentes sectores y niveles de nuestra realidad.

Por ejemplo, tenemos a las células de Bénard y las reacciones de Belousov-Zhabotinskii (o Brusselator cuando este tipo de reacción química es simulada en computador).

Fue debido a Ilya Prigogine quien – al trabajar en estos procesos químicos –, acuña el término de “estructuras disipativas”.

Concepto que nos permite entender la emergencia de novedades en el interior de aquellos sistemas que se encuentran en el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Desde un punto de vista termodinámico, estos sistemas son sistemas abiertos (lo cual significa que intercambian energía y/o materia con sus alrededores), además, los fenómenos de auto-organización se producen debido a los continuos cambios en las interacciones locales entre los componentes que conforman a estos sistemas dinámicos (Nicolis & Prigogine 1977).

Así, al observar más detenidamente a la reacción de Belousov-Zhabotinskii (B-Z), nos damos cuenta que es una reacción química oscilante que es auto-catalítica.

En otras palabras, los productos de la reacción incrementan la tasa de su propia producción. Y otra característica, es que en este

proceso es posible observar diferentes estados estables y órbitas periódicas.

Los compuestos químicos que en solución producen la dinámica oscilante en la reacción, son los óxidos de Cerio: Ce (III) y Ce (IV).

El incremento periódico en la concentración de uno de estos compuestos químicos, es seguido por la subsecuente disminución en la concentración del otro compuesto. Ello provoca que pueda ser visualizado al nivel macroscópico como cambios rítmicos del color (Strogatz 1994).

Lo que este tipo de sistema auto-organizado tiene en común con otros sistemas del mismo tipo, es que la continua producción de entropía en el sistema es activamente exportada (“disipada”) a los alrededores del sistema.

Estos tipos de sistemas dinámicos auto-organizados, nos revelan ciertas propiedades genéricas que pueden aplicarse al resto de los fenómenos auto-organizacionales, y que señalamos a continuación (Haken 1978; Bak 1996; Heylighen et al. 1999):

- (1) La aparición de un orden local empieza a partir de interacciones locales;
- (2) El control de la organización es distribuido a través del sistema en su totalidad;
- (3) Son relativamente “insensibles” a los cambios del medioambiente; son ‘robustos’;
- (4) Los fenómenos de auto-organización son esencialmente no lineales;

- (5) Los fenómenos de auto-organización contienen procesos de feedback, tanto positivos como negativos;
- (6) El grado de coordinación o correlación entre los componentes del sistema, está asociado al grado de organización del sistema dinámico auto-organizado.
- (7) La auto-organización es causada fundamentalmente debido a una dinámica interna al sistema. Debido a esto, el sistema posee lo que se conoce como “clausura organizacional”.
- (8) Existen propiedades adicionales que empezarán a emerger en los sistemas auto-organizados en la medida que su dinámica interna se vuelva cada vez más compleja.

En este capítulo me interesará realizar un estudio sobre la emergencia de ciertas propiedades que surgen en determinados sistemas auto-organizados: aquellos que encontramos en los tiempos anteriores a la aparición de las primeras formas de vida.

De este modo, a partir de esta parte inicial de mi trabajo de tesis, propondré (y defenderé su validez conceptual durante toda esta tesis) una hipótesis central de trabajo con el objeto de contribuir con la discusión y mejorar el entendimiento de aquellos fenómenos que se pudieron haber producido en el pasado distante.

Justo en los tiempos en que podríamos sostener que se produjo el pasaje – etapa de transición –, desde los fenómenos correspondientes al mundo inanimado, hacia los fenómenos que se encontraron presentes en lo que fue el origen del mundo de los seres vivientes.

Por tanto, me estaré ocupando de poder explorar y aclarar la naturaleza de las interacciones locales que harían posible la aparición de las formas originales de aquellos primeros sistemas dinámicos que tuvieron la propiedad global de ser agentes autónomos (Maes 1991; Kauffman 1993; Bar-Yam 1997).

Nuestra estrategia será aproximarnos a este problema desde una perspectiva bottom-up, en términos naturalistas.

En consecuencia, en nuestros argumentos haremos explícita referencia a las maneras en que una organización dinámica pueda llegar a producirse en sistemas que usan solamente componentes materiales y/o energéticos gobernados exclusivamente por leyes físicas, químicas y fisicoquímicas.

Con todo esto en mente, propondré un constructo de sistema dinámico que tendrá las condiciones materiales necesarias para la emergencia de otras propiedades que le proveerán – de manera gradual –, de un carácter y comportamiento que tendría mayor similitud a los fenómenos vivos.

Estos sistemas continuarán siendo gobernados por las leyes arriba mencionadas, sin embargo, estas nuevas propiedades empezarán a participar activamente en la dinámica de su organización.

Y esta participación se producirá a tal nivel que permitirá la emergencia de los albores de una evolución con final abierto. Tema que me dedicaré a estudiar en el capítulo final (Ruiz-Mirazo et al. 2004; Ruiz-Mirazo et al. 2008).

Nuestra propuesta conceptual contiene, adicionalmente, otros dos objetivos: la construcción de argumentos que sustenten la

posibilidad y necesidad de proponer una definición del concepto de información y del concepto de función edificados en términos naturalistas.

En otras palabras, defendemos que ambos conceptos no son sólo productos del pensar, sean estos desarrollados en términos abstractos, formales o epifenoménicos. Ni tampoco, que para ser definidos tengamos que recurrir a algún tipo de adscripción impuesta desde nuestro mundo humano, o, proveniente del mundo de los artefactos construidos por nosotros.

En este capítulo, presentaré a un tipo especial de sistema dinámico auto-organizado al que considero como aquel sistema que abrió los portones del mundo prebiótico y que, por tanto, a partir de su existencia, se iniciarían los sucesivos pasos que nos llevarán del mundo de lo inanimado hasta el mundo de los sistemas vivientes: ***el Sistema Dinámico Informativo*** (Riofrio 2007).



## **1.2 *Los Sistemas Dinámicos Informacionales***

En este segundo párrafo del primer capítulo de mi tesis, me voy a dedicar a presentar el constructo teórico central de mi investigación el que, precisamente, da título a este acápite.

Sostengo que una buena estrategia para aproximarse a un problema en particular, es aquella que nos pueda proveer de marcos de análisis que nos permitan profundizar en la naturaleza de los fenómenos involucrados en ese problema.

En mi tema de investigación, me parece muy aconsejable disponer de un modelo conceptual que me permita postular los aspectos más importantes de la posible la organización dinámica que posiblemente debieron poseer aquellos sistemas previos (sistemas prebióticos) al origen de los sistemas vivos y que, de modo fundamental, permitieron la futura emergencia de estos.

Al mismo tiempo, es nuestra más firme creencia que el origen de los sistemas prebióticos ya conlleva ante sí una particularidad importante: este tipo de sistemas, ya portaba como parte esencial de su dinámica organización un cierto grado de complejidad.

Es decir, que ya estaban en posesión de una dinámica de auto-organización que contenía una “mínima complejidad”.

Y esto implica, de modo sustantivo, que no es posible entender la aparición de los fenómenos biológicos a partir de una propiedad, o, a partir de un tipo específico de estructura molecular que es capaz de evolucionar.

Presentado en términos diferentes: una de mis propuestas centrales es que definiendo la afirmación que señala que entender las

condiciones que hacen posible la aparición de las formas vivientes significa entender al mismo tiempo, y de manera preeminente, que las **propiedades más básicas** de los sistemas vivos ya estaban presentes en los orígenes mismos del mundo prebiótico.

En otras palabras, me estoy refiriendo a una explicación que descansa en una aproximación ontológica que defiende la existencia de fenómenos emergentes, entendidos en sentido fuerte (Holland 1998; Laughlin 2005; Chalmers 2006).

Una ontología que podría explicar la eficacia causal de un determinado fenómeno emergente:

“La habilidad para reducir todo a simples leyes fundamentales, no implica la habilidad de empezar con aquellas leyes y reconstruir el universo...La hipótesis construccionista se quiebra cuando es confrontada con las dificultades gemelas de escala y complejidad...a cada nivel de complejidad aparecen enteramente nuevas propiedades...La psicología no es biología aplicada, ni tampoco la biología es química aplicada...”<sup>1</sup>

En concordancia con las afirmaciones de Anderson, también defiende el hecho que los sistemas vivos inician un nuevo nivel de complejidad en el contexto de los fenómenos del universo. Y no es

---

<sup>1</sup> "The ability to reduce everything to simple fundamental laws does not imply the ability to start from those laws and reconstruct the universe...The constructionist hypothesis breaks down when confronted with the twin difficulties of scale and complexity...at each level of complexity entirely new properties appear...Psychology is not applied biology, nor is biology applied chemistry..." (Anderson 1972, p. 393).

posible limitar las explicaciones de tal complejidad a conformar solamente un capítulo de la química aplicada.

Aún cuando los fenómenos biológicos no van en contra de alguna ley de la física, de la química, o de la fisicoquímica, sin embargo, no por ello dejará de resultar imposible de reducirlos a menores niveles de la realidad.

Y esta circunstancia se debe al hecho de que cada nuevo nivel de complejidad que se materializa en el universo implica, por necesidad, la aparición de nuevas propiedades que contienen eficacia causal y que podrán – finalmente –, producir nuevos eventos en nuestro universo.

Esta es la razón primaria, por la cual tengo la certeza de que una aproximación normativa de la noción de emergencia resulta imprescindible para el éxito argumentativo-conceptual que una propuesta naturalista en biología.

Además, existen argumentos que apoyan la afirmación que sólo en el interior de una metafísica de procesos es posible la defensa de la eficacia causal en la emergencia ontológica (Bickhard 2004).

El caso de la emergencia de los sistemas vivos implica la eficacia para causar ciertos eventos y, entre ellos, estarían las condiciones que hacen posible la materialización de nuevos niveles de complejidad (interacción con otros sistemas vivos, el conjunto de fenómenos cognitivos, la experiencia social humana, entre otros).

Esta materialización de nuevos niveles de complejidad, no parecen poder producirse por ningún evento exclusivamente físico, químico, o, fisicoquímico.

Por tanto, como consecuencia de las reflexiones vertidas hasta el momento, parecería importante el tratar de realizar un cuidadoso estudio de aquellas condiciones que hicieron posible el que este nuevo nivel de complejidad – conocido como el origen de los sistemas vivientes –, se produjera (emergiera) en una región de nuestro universo.

Mi estrategia para aproximarme a este tema es realizar una investigación que empieza en los tiempos justo en los tiempos anteriores a que aparecieran las primeras formas de vida en la tierra.

Es decir, me voy a dedicar al estudio y defensa de una clase de sistema dinámico que pudo haber estado presente en lo que llamaré el “estado de transición” que se ubica entre los fenómenos inertes (gobernado exclusivamente por las leyes de la física, la química, fisicoquímica) y la aparición de las primeras formas de sistemas vivientes.

Este estado de transición contiene un especial interés, pues es lo que se conoce como el mundo prebiótico. De este modo, a partir de ahora estableceré una clara línea demarcatoria que separará el mundo prebiótico, del mundo de lo inerte.

Es en este primer mundo – el mundo prebiótico –, en el que se desarrollaría un camino compuesto de nuevos fenómenos y que terminarían llevándonos hasta el mundo de los sistemas vivientes.

Así, este conjunto de nuevos fenómenos estaría constituido por determinados tipos de sistemas que contarían con ciertos grados de auto-organización.

Por otra parte, sostengo que este mundo prebiótico podría haber estado compuesto por una serie casi continua de sistemas.

Y cuando hablo de continuo, es en el sentido que las propiedades más fundamentales de estos diferentes tipos de sistemas – que se comportan como lo característico y sustancial de esta determinada clase de auto-organización – habrían sido compartidas por todos ellos.

El detonante de toda esta fenoménica o dinámica, que va desde el mundo de lo inerte hacia el mundo de lo viviente, fue el sistema que originó el mundo prebiótico.

Y considero que su diseño y capacidades más genéricas, o, fundamentales, bien pudieron haberse asemejado a nuestro constructo, al que le he puesto el nombre de **Sistema Dinámico Informativo**.

Así, propongo que esta clase de sistema dinámico – que sería un tipo especial de estructura disipativa –, pudo de por sí haber contenido en su interior un cierto grado de complejidad organizativa que no puede ser reducida a sus partes, o, constituyentes.

Expresado de otra manera, una de mis propuestas más centrales en el presente trabajo es que el sistema dinámico informativo es aquel tipo de entidad dinámica que propició la emergencia de ciertas propiedades que resultan ser los causales para la aparición de eventos definidos hacia su entorno, así como, hacia su medio interno dinámico.

Eventos que no serían capaces de generarse por ningún fenómeno que proviniera en forma exclusiva de las regiones de lo físico, de lo químico, o, de lo fisicoquímico.

De este modo, tenemos que el sistema dinámico informacional fue definitivamente un agente autónomo (Kauffman 2000) y, al mismo tiempo, una clase de sistema complejo adaptativo (Holland 1995).

En palabras de Kauffman, un agente autónomo es:

“...el agente autónomo debe ser un sistema termodinámico abierto, que es movido por fuentes externas de materia y energía – de ahí “alimentos” – y la continua conducción del sistema por dicho “alimento” mantiene al sistema alejado del equilibrio... [Entonces] ...Un agente autónomo es un sistema reproductivo que lleva a cabo al menos un ciclo termodinámico de trabajo ...”<sup>2</sup>

En consecuencia, un agente autónomo posee un conjunto de características que necesitan de ser detenidamente subrayadas. En primer lugar, es un sistema termodinámico abierto. En segundo lugar, debido al hecho que puede obtener de sus alrededores tanto materia como energía, entonces, resulta ser un sistema que se encuentra alejado del equilibrio termodinámico.

---

<sup>2</sup> “...the autonomous agent must be an open thermodynamic system driven by outside sources of matter or energy –hence “food”- and the continual driving of the system by such “food” holds the system away from equilibrium... [Then]...An autonomous agent is a reproducing system that carries out at least one thermodynamic work cycle...” (Kauffman 2000, p. 64).

Por último, puede reproducirse y llevar a cabo al menos un ciclo de trabajo termodinámico.

Tomando en cuenta lo que acabo de señalar, entonces, el hipotético sistema que propongo podría contener las mínimas capacidades necesarias que lo harían comportarse como un agente autónomo.

Además, propongo que también contendría todos los requerimientos necesarios para llevarnos hasta las primeras formas de vida.

De este modo, mi constructo teórico-conceptual ya posee como parte de su organización aquellas mínimas capacidades que están presentes en cualquier sistema viviente.

Y por ello mismo, serán expresadas a niveles crecientes de complejidad conforme avanzamos por la evolución biológica.

Podemos establecer firmemente que el tipo de sistema auto-organizado que está relacionado con la emergencia de los fenómenos vivientes es un sistema cuya naturaleza es de tipo química.

Por tanto, todo aquello que esté relacionado con la normatividad que involucra a las reacciones químicas, así como, todos aquellos requerimientos que provengan de lo fisicoquímico, ocupará un lugar especial en la discusión de nuestros argumentos.

Adicionalmente, es factible visualizar al mundo prebiótico como compuesto por una serie de sistemas que se encontraron relacionados por una sucesión de etapas más o menos continuas.

Y en cada una de estas etapas, encontraríamos a los sistemas conteniendo cierto grupo de capacidades que ellos han incorporado para sí de los sistemas que le precedieron.

En su momento, ellos podrían haber explorado diferentes estrategias para mejorar aquellas que ya poseen. Adicionalmente, habrían tenido la oportunidad de producir la emergencia de nuevas capacidades que – en conjunto con las existentes –, estarían preparando el camino para la futura emergencia de las primeras formas vivientes.

Antes de la génesis de los sistemas prebióticos, nos encontramos con diferentes tipos de sistemas disipativos auto-organizados que de manera gradual nos llevarían hacia esta nueva forma de existencia.

Estos sistemas disipativos simples y auto-organizados – cuya composición fue fundamentalmente inorgánica –, podrían haberse originado en específicas regiones de nuestro planeta.

Debido a las condiciones que presentó nuestro planeta tierra durante esas épocas remotas, es posible que se pueda postular que estas primeras formas de auto-organización química podrían bien haberse producido en la superficie de ciertos minerales (Wächtershäuser 1988; Hazen 2001; Ferris 2002; Cairns-Smith 2003; Ricardo et al. 2004), como también, en regiones muy cercanas a los volcanes (Fisk et al. 1998; Schopf et al. 2002; Van Zuilen et al. 2002; Turnes et al. 2004; Foustoukos & Seyfried 2004).

Antes de continuar con el desarrollo de nuestros argumentos filosóficos, debemos realizar algunas precisiones importantes.



Debemos de puntualizar muy claramente que en la actualidad es definitivamente imposible el tratar de encontrar en la naturaleza un sistema prebiótico tal y como es visualizado en mi propuesta.

En primer lugar, hace mucho tiempo que estos sistemas desaparecieron de la faz de la tierra, de tal forma que, toda posible traza o rastro de estos sistemas se ha desvanecido.

En segundo lugar, sus “ladrillos de construcción” deben haber sido metabolizados hace mucho tiempo por otros tipos de sistemas prebióticos, así como también, pudieron haber sido utilizados por los primeros sistemas vivientes.

Sin embargo, sí es posible que yo pueda elaborar una argumentación que se refiera a las capacidades que permitieron la gradual construcción de las estructuras y organización dinámicas de estos sistemas en términos de sus propiedades internas.

Además, si de lo que se quisiera es postular o sugerir alguna referencia a la sucesión de cambios en los sistemas dinámicos – aquellos que están fuertemente unidos a la emergencia de la vida –, podría entonces hablar de una proto-evolución (me dedicaré especialmente a un estudio sobre este tema en el último capítulo).

Por ejemplo, se podría usar una variante del concepto “evolvability” tal que pueda ser aplicado al mundo prebiótico (Kirschner & Gerhart 1998; Radman et al. 1999; Csete & Doyle 2002; Poole et al. 2003; Tanay et al. 2005).

De este modo, se puede postular que en algún momento las futuras generaciones de las diferentes poblaciones de estos sistemas dinámicos informacionales, podrán ser “blanco” de la

evolución por selección natural (Lewontin 1970; Sober 1984; Brandon 1990).

### ***1.3 Dinámica del mundo prebiótico***

La reflexión teórica que estoy elaborando la ubico en el pasado distante, y dicha época nos presenta un panorama genérico acerca del tipo de compuestos que estuvieron presentes.

En realidad, en aquellos tiempos el tipo de constituyentes químicos que podemos encontrar en la tierra antigua serían compuestos químicos increíblemente simples, fundamentalmente de naturaleza inorgánica, aún cuando no se descarta la presencia de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos.

Incluso, se puede tener en consideración que haya habido una posible síntesis abiogénica de compuestos tales como el tioéster (de Duve 1995).

Los compuestos tioéster son aquellos que se forman cuando un sulfidrilo – que es un compuesto orgánico unido al sulfuro y al hidrógeno (R-SH) –, se une a otro compuesto llamado ácido carboxílico (R'-COOH).

Durante la reacción química, una molécula de agua es liberada formando, de esta manera, el compuesto tioéster (R-S-CO-R').

Tomando en consideración el conocimiento actual sobre las condiciones que pudo haber tenido la tierra primitiva, en conjunción con el constante impacto de meteoritos en esos periodos de tiempo,

es posible teorizar acerca de la factibilidad de la existencia de amino ácidos y ácidos carboxílicos.

Más aún, del hecho que en esos tiempos se presentó una masiva actividad volcánica, podemos también, postular de manera razonable la existencia de sulfidrilos (Bada et al. 1995; Cooper et al. 2001; Bernstein et al. 2002; Monnard et al. 2002; Rees & Howard 2003).

Para propósitos de mi argumentación, es preciso que ponga una línea de demarcación alrededor del origen de los sistemas prebióticos: sería un tipo de sistema que presentaría un cierto nivel de autonomía, que se expresaría a partir de la auto-manutención de su dinámica organización.

Por tanto, es un tipo de sistema dinámico mucho más robusto que aquellos sistemas disipativos auto-organizados que dependen fuertemente de las condiciones de su entorno.

Esta situación, abre el espacio de las posibilidades para convertir en más robusta y compleja la dinámica de auto-organización de aquellos sistemas que heredarían esta característica esencial para su sobrevivencia. Y que se transmitirá en la continua sucesión de un tipo de sistema prebiótico que terminará con la emergencia de las primeras formas de vida.

Con los párrafos anteriores, lo que estoy es delineando una suerte de conexiones entre los distintos tipos de sistemas disipativos auto-organizados que surgieron en el pasado remoto en la tierra.

Pues fue una clase muy especial y robusta de ellos, el tipo de sistema disipativo que abrió los portones del mundo prebiótico: el sistema dinámico informacional.

Además, que esta clase especial de sistemas disipativos resulta ser el ancestro más antiguo de los sistemas vivientes.

Es en este sentido, que considero que mi hipotético sistema dinámico informacional provee de una explicación para la emergencia de esa dinámica organizacional, y con ella, nos permitiría entender la emergencia de la propiedad global conocida como *autonomía*.

Hablando de manera genérica, los sistemas disipativos auto-organizados son sistemas alejados del equilibrio termodinámico.

Las células de Bénard, las reacciones de Belousov-Zhabotinskii, los sistemas vivientes y los sistemas prebióticos, son todas ellas estructuras dinámicas que se encuentran alejadas del equilibrio termodinámico.

Sin embargo, una diferencia que es crucial para nuestra argumentación la hayamos en el hecho de que los primeros dos ejemplos citados son sistemas alejados del equilibrio termodinámico debido fundamentalmente a causas externas: los requerimientos de materia y energía que sus procesos necesitan dependen, invariablemente, de las condiciones medioambientales.

De manera contraria al caso anterior, los otros dos ejemplos citados se mantienen, ellos mismos, en condiciones de no equilibrio termodinámico por razones que son sistémicamente intrínsecas a ellos.

Por supuesto, no estoy ni por asomo proponiendo que tanto la energía como la materia para estos segundos ejemplos no provengan del exterior. Son importantes las condiciones del medioambiente.

Sin embargo, me refiero y preciso que es el alejamiento del equilibrio termodinámico el que no depende exclusivamente de una buena dotación de requerimientos externos (como es el caso de los primeros dos ejemplos).

Como es sabido, la correlación entre procesos es un fenómeno esperado cuando un sistema se encuentra en condiciones alejadas del equilibrio termodinámico (Kosztin & Schulten 2004; Levine 2005).

Una conclusión que se deriva de mi modelo conceptual, es que un paso crucial que nos encamina hacia el origen del mundo prebiótico es la aparición de una correlación entre los procesos endergónicos y los procesos exergónicos.

Es sabido que los primeros procesos necesitan requerimientos energéticos, mientras que los segundos producen, o, liberan energía.

La existencia de compuestos con enlaces de “alta energía”, favorecerían de manera significativa esta correlación entre los procesos arriba mencionados formando, de esta manera, un micro-ciclo que es capaz de generar trabajo (generando; primariamente, un trabajo de tipo químico).

El pirofosfato inorgánico y/o un simple tioéster, pueden haber sido los compuestos moleculares que contuvieron estos tipos de enlaces

químicos comportándose, de este modo, como la ancestral “moneda energética” del mundo prebiótico.

En las células actuales, encontramos que los tioésteres están relacionados con la formación de ésteres, incluyendo aquellos que encontramos en los lípidos complejos.

También, los encontramos participando activamente en la síntesis de péptidos, ácidos grasos, esteroides, terpenos, porfirinas entre otros compuestos.

Es con esta última referencia, que acabamos de establecer la factibilidad de mantener un adecuado intercambio de energía entre el ciclo de procesos endergónico-exergónico y la producción de compuestos (que no es otra cosa, que la ejecución de un trabajo químico), que tienen mucho que ver con la formación y reconstrucción de una proto-membrana plasmática (‘polímeros anfifílicos’) (Schopf 1993; Keefe et al. 1995).

De esta manera, los sistemas dinámicos informacionales logran mantenerse ellos mismos en condiciones de no equilibrio, pues hay dos requerimientos fundamentales al interior de su dinámica organizacional.

Presentándolo en otros términos, podemos decir que, en primer lugar, se tendría el ciclo exergónico-endergónico que al estar conectado con el compuesto que porta el enlace de alta energía, se formaría un tipo de proceso que es capaz de producir trabajo.

En segundo lugar, nuestro sistema prebiótico tendría una membrana protoplasmática; tal que en el curso de su dinámica interna, se estaría conectando de alguna manera con aquel

compuesto que se comporta como la molécula que es la “moneda energética” de los tiempos prebióticos.

Estos argumentos nos hacen factible la visualización de una posible interacción entre estos dos tipos de procesos, y por ello mismo, más adelante en nuestro trabajo, podremos ver cómo todo esto permite la existencia de ciertos grados iniciales de autonomía con respecto a las siempre cambiantes condiciones medio ambientales.

Otro tópico que tenemos que cubrir, es el referido a la formación de compuestos oligoméricos que se podrían producir debido a una condensación no-enzimática. Mucho se ha investigado y mucho se ha dicho, en lo concerniente a la química abiótica referida a este tema.

Y hasta hace muy poco tiempo, los resultados habían sido muy pobres y limitados en lo que respecta a las reacciones de polimerización abiótica que empezaban a partir de la unión de sus monómeros, sean estos aminoácidos o nucleótidos.

Sin embargo, recientemente un grupo de investigadores ha probado experimentalmente que el compuesto denominado *sulfuro de carbonilo* (COS) – un gas muy simple formado a partir de la actividad volcánica y, sin lugar a dudas, presente en la era prebiótica –, interviene en la condensación de péptidos de cadena corta.

De manera muy resumida, podemos afirmar que la reacción molecular envuelve a la unión del COS con el aminoácido por el

grupo amino, produciendo posteriormente un compuesto cíclico llamado N-carboxianhidrido (NCA).

El NCA se unirá con otro aminoácido, de manera tal, que el dipéptido se formará cuando se libere una molécula de CO<sub>2</sub> (Leman et al. 2004).

Estos resultados de la investigación científica nos muestran que es completamente posible la síntesis abiogénica de péptidos de cadena corta en condiciones muy similares a aquellas que pudieron existir en tiempos prebióticos.

A partir de estos resultados, es posible, además, efectuar una propuesta que en términos racionales nos indicaría que a partir de la síntesis abiogénica de distintos tipos de péptidos de cadena corta en las eras prebióticas, quizá pudieron haberse presentado las condiciones para que un grupo de estos péptidos, pudieran haberse relacionado a partir de una secuencia interdependiente de reacciones químicas: esta posibilidad teórica, implicaría la factibilidad de los inicios de un cierto proto-metabolismo:

“...Parece plausible que un proto-metabolismo se cristalizaría en, se integraría en, y mantendría la reproducción de un conjunto polímero autocatalítico...”<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> “...It seems plausible that a protometabolism would crystallize in, integrate into, and support the reproduction of an autocatalytic polymer set...” (Kauffman 1993, p. 350).



“...voy a llamar a esa fase anterior "proto-metabolismo" para designar el conjunto de reacciones químicas desconocidas que generaron el mundo del ARN y...que estuvo a cargo hasta que el metabolismo lo reemplazó...”<sup>4</sup>

Acabamos de presentar, a tres grupos distintos de procesos moleculares – de la mano con las posibilidades de su emergencia. Y que de manera interesante, nos llevarán de forma directa a la auto-organización dinámica que constituye al sistema dinámico informacional.

#### ***1.4 Organización del sistema dinámico informacional***

Para tener la capacidad de ser un sistema más robusto que los sistemas que se auto-organizan por condiciones exclusivamente externas a ellos. Y para ser capaz de tener de manera adicional, las condiciones necesarias y suficientes para empezar el lento pero seguro camino hacia la mejora de sus niveles de complejidad, este tipo de sistemas (los sistemas dinámicos informacionales), deben de haber estado hechos de, al menos, tres diferentes clases de grupos de procesos.

---

<sup>4</sup> “...I shall call that earlier phase "protometabolism" to designate the set of unknown chemical reactions that generated the RNA world and ... was in charge until metabolism took over...” (de Duve 1995 p. 432).

La primera clase de estos procesos, es fundamental para proveer al sistema de un cierto grado de independencia respecto de su medio ambiente, ya que este proceso generaría las condiciones para dirigirse y mantenerse en el estado de no equilibrio.

Estamos hablando del ciclo endergónico-exergónico, que es capaz de producir en cada ciclo cantidades de energía libre hacia el sistema, cantidades que serían las suficientes para tener la posibilidad de generar trabajo (del tipo fundamentalmente químico).

Es este ciclo el que, por propio derecho, proveerá al sistema de la característica de ser un sistema que se encuentra en el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico. Y esto se debe, a que este proceso forma parte de su organización dinámica.

Así, ser un sistema en el estado de no equilibrio es una prioridad intrínseca a este tipo de sistemas.

Y es debido a lo anterior, que esta capacidad – que aparece debido a esta clase de proceso –, podemos considerarla como el más básico de los fundamentos que caracterizan de manera esencial y primaria a los sistemas dinámicos informacionales.

El segundo grupo de procesos, formará otra parte importante de la organización dinámica de estos sistemas. Este segundo tipo de procesos, es aquel que constituirá a la membrana protoplasmática.

En primer lugar, esta componente del sistema genera una separación, una barrera física, entre el sistema y su medioambiente. Ello causará – de partida –, una diferente distribución de compuestos, así como, una dinámica de tipo diferente entre ellos.

De igual modo, causará una diferente interacción entre los procesos internos y externos a esta membrana protoplasmática.

La existencia de esta membrana protoplasmática, también permitirá que ciertas propiedades de la química tengan un punto focal de acción para generar posibles circunstancias problemáticas. Las cuales, a su momento, producirán las situaciones que condicionarán la exploración de diferentes estrategias de solución por parte del sistema en el futuro.

Me estoy refiriendo a ciertas propiedades químicas, tales como, las propiedades coligativas, la cinética química, las gradientes electroquímicas, por mencionar las más importantes.

Es en la membrana protoplasmática, en que objetivamente seremos capaces de observar la emergencia de la capacidad de autonomía.

Ello se debe, de modo fundamental, a que es esta la parte del sistema que regula las interacciones con su medioambiente.

Así como también, provee de los constituyentes necesarios (de materia y energía), de manera tal, que los procesos internos al sistema continuarán produciendo sus mecanismos en condiciones compatibles con su supervivencia.

De este modo, consideramos que la cohesión del sistema no es perturbada (Collier 1986; Collier 2004).

Esta parte de la organización del sistema, es aquella que es completamente agente.

Y esto se debe, a que permite la resolución tanto de los problemas osmóticos, y la adecuada concentración de los componentes de sus

procesos internos, como también, permitirá el manejo de las gradientes electroquímicas, y la disminución de las probabilidades del ingreso de compuestos extraños a su organización, entre otros.

Es así, que también se puede establecer que el sistema contiene dos tipos diferentes de constricciones (Pattee 1972; Kauffman 2000).

La primera de ellas, la llamo la '*constricción básica*', pues es la que directamente mantiene al sistema en el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Es el ciclo que se produce entre los procesos endergónicos unidos a los procesos exergónicos, y que tienen la capacidad adicional de producir trabajo: condición necesaria y suficiente para producir los fenómenos de organización dinámica.

La segunda de estas constricciones, permite una interacción dinámica y agencial con su medioambiente externo y con su medio interno: una membrana semi-selectiva (la membrana protoplasmática) que contiene los compuestos que generarán los procesos que le brindan al sistema de la capacidad de administrar tanto sus condiciones internas como externas.

Es importante mencionar, que ambas constricciones se encontrarán de una manera tan interrelacionada, que una comunicación directa (*básica*), existe entre ellas.

Adicionalmente, encontramos otros tipos de procesos (que constituyen, en conjunto con los dos anteriores, la identidad de la dinámica organizacional del sistema).

El tercer grupo, es una red de reacciones que estaría realizando los procesos de reparación, de mantenimiento y de reproducción del sistema dinámico informacional.

Además, consideramos que es posible que – ya sea de una forma, o, de otra –, esta red de reacciones estaría conectada a las dos constricciones del sistema.

El sistema dinámico informacional, está organizado por la interrelación e interdependencia de estas tres clases de procesos.

La expresión de un comportamiento autónomo y de un comportamiento agente, implica la existencia de ciertas capacidades que se vuelven realidad en las maneras en que la membrana protoplasmática realizará y coordinará sus procesos internos.

Así, antes que nada, debemos recordar que el sistema dinámico informacional es la dinámica organización que lo constituye.

De esta manera, la dinámica organización de este tipo de sistemas es; de hecho, una colección de procesos que se encuentran interrelacionados y que son interdependientes.

Podemos decir que contiene, además, una característica adicional: esta interconexión entre los procesos, hace que todos ellos se hayan conectado de manera concreta con la constricción (*constricción básica*) que permite al sistema mantenerse en el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Un comportamiento agente, nos lleva al entendimiento de que debería de existir un cierto grado de manejo de las condiciones internas y externas al sistema.

Aún cuando este manejo de las condiciones fuera muy mínimo en sus inicios, ineludiblemente dirige nuestra atención hacia aquellos procesos que serían los responsables de la interacción y ejecución de los mecanismos de reconocimiento, selección y transporte activo o pasivo, que se generan en las membranas plasmáticas de las células actuales.

Y entonces, llegamos a la conclusión que todo este conjunto de comportamientos es llevado a cabo pues es *'dictado por'* (existe una fuerte correlación con) la tendencia a persistir como tal – de mantenerse por sí mismo –, en el estado que lo caracteriza de manera fundamental: *el aspecto más primigenio de su naturaleza está constituido por ser un sistema alejado del equilibrio termodinámico.*

Es posible conjeturar, que la constricción básica causará el cambio de la energía libre del sistema ( $\Delta G_{\text{sys}}$ ) a tener una tendencia hacia los valores negativos.

Tomando como a una totalidad a los procesos y a sus interconexiones, lo anterior provocaría que se encuentren inmersos en una sucesiva y continua dinámica de incrementos del orden.

Por lo tanto, dejar de ser un sistema alejado del equilibrio termodinámico, es lo mismo que decir que el sistema ya no existe.

Aún más, afectar fuertemente las condiciones para permanecer en dicho estado, implica poner seriamente en riesgo su sobrevivencia.

Este aspecto central de su naturaleza, se encuentra ahora mantenido por el sistema mismo a través de la incorporación a su organización de la constricción básica.

Esta condición central, permite al sistema *mantenerse por sí mismo en el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico*.

Dado que lo anterior constituye el aspecto más original de estos sistemas, nos parece que podemos asumir que dicha característica – que se encuentra en el núcleo más profundo de su naturaleza –, gobernaría la multiplicidad de transformaciones en sus comportamientos, componentes, capacidades y características en el futuro del sistema y de su posible descendencia (Riofrio 2008).

De esta manera, nuestra propuesta en su totalidad descansa sobre la suposición naturalista que los sistemas dinámicos informacionales desarrollan su diferencia de otros sistemas disipativos auto-organizados debido al hecho que han sido capaces de desarrollar y mantener una capacidad que es central para su existencia:

*Logran mantenerse, o, logran incrementar su estado de alejamiento del equilibrio termodinámico por razones intrínsecas al mismo sistema.*

Debido al hecho, que la constrictión que los mantiene alejados del equilibrio es una componente que forma parte de su dinámica organización, puedo afirmar que emergerán ciertas estrategias que este sistema desarrollará para tratar de mantener este estado (el estado de no-equilibrio), en condiciones que sean compatibles con las leyes que les son impuestas por el mundo físico.

Las estrategias a las que nos estamos refiriendo, serán dos nuevas características que emergen en el sistema – en las interacciones locales –, y que se dirigen directamente hacia la manutención del estado de alejamiento del equilibrio, pues existirá una conexión directa o indirecta con la constricción básica.

Me estoy refiriendo, a:

*La emergencia física de la función biológica y de la información biológica.*

Dicho en términos sucintos, sostengo que tanto la información como la función biológicas emergen al mismo tiempo – al unísono –, en los sistemas dinámicos informacionales.

Lo interesante de nuestra propuesta, es que sostenemos que la emergencia física de estas dos nociones, se produce de manera interrelacional: en la forma de la noción “*Información-Función*”.

Más aún, podemos postular que la información, así como, la función, son también conceptos relacionales.

Por ello, resulta muy importante – con vistas a defender mis argumentos –, entender la diferencia básica y fundamental que existe entre un sistema en el estado de equilibrio termodinámico, de un sistema que se encuentra en el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Esta importante diferencia, nos permite construir un tipo de normatividad que se encuentra en ciertas leyes de la naturaleza, y



que no necesita ningún tipo de adscripción que provenga del mundo de lo humano, o, del mundo de los artefactos creados por el ser humano: nos estamos refiriendo a las leyes de la termodinámica.

Por lo tanto, defendemos que nuestra propuesta de la noción 'Información-Función' – como una característica que emerge en los sistemas dinámicos informacionales –, es un concepto relacional que se encuentra fuertemente gobernado por (correlacionado con) el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

De camino hacia una mayor precisión, puedo afirmar que la propiedad 'información-función' contiene dos aspectos: el aspecto *función informacional* y el aspecto *información funcional*.

Y mi propuesta de estas características significará que:

*Cada vez que observemos la transmisión de algún tipo de información en los sistemas dinámicos informacionales, ello se deberá a que algún tipo de función se ha producido.*

*De manera equivalente, cuando observemos la presencia de alguna función en estos tipos de sistemas, ello se debe a que fundamentalmente alguna clase de información ha sido transmitida.*

### **1.5 Emergencia de la Información y la Función Biológicas**

Puedo afirmar, que las ideas de información y de función se dirigen hacia la red de interrelaciones que se produce entre los procesos.

Es en los procesos y en las interrelaciones entre ellos, que ambas capacidades emergen por primera vez en el mundo físico.

De manera tal que, a través del polo función (*“función informacional”*), observamos que la contribución de cada proceso para la consecución del apropiado desempeño, en la lógica integral de la organización del sistema, causará que el sistema se mantenga por sí mismo alejado del equilibrio termodinámico.

Por su parte, a través del polo información (*“información funcional”*), observamos que el **significado para el sistema** de alguna señal o signo – que es el medio físico de transporte de alguna variación de energía, o, materia –, se expresará en acuerdo, o, concordancia con el mantenimiento del estado de alejamiento del equilibrio.

Sin embargo, puede suceder que también se expresase en oposición al mantenimiento del estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

En la primera situación, el **significado** de la variación materia-energía que incide sobre el sistema, causará una respuesta positiva por el sistema.

En el segundo caso, el **significado** causará una respuesta negativa por parte del sistema.

Podemos observar que ambos, la información y la función biológicas, se encuentran fuertemente conectados por su definición con la idea de estar alejado del equilibrio termodinámico. **Y esto es precisamente lo que propongo.**

En consecuencia, podemos considerar a través de una perspectiva naturalista, el 'estado alejado del equilibrio termodinámico' como una norma básica, que el sistema se impone así mismo, para continuar siendo el sistema que es.

Por tanto, la información y función biológicas tendrán que ser definidas a partir de lo que físicamente tendremos en esos momentos, en donde no hay lugar para adscripciones humanas, y en donde aún, una posible interpretación epifenoménica para cualquiera de ellas, es suprimida desde el principio.

Las diferencias existentes, entre un sistema en el estado de equilibrio termodinámico, y un sistema en el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico, son muy claramente entendibles y podemos definir las muy bien en términos experimentales.

El grupo de causas y condiciones de contorno que permiten diferenciarlas, pueden usarse de las maneras más explícitas posibles.

Así, para realizar nuestra defensa de la clase de sistema con las características que hemos mencionado, nosotros tendríamos en el reino de las leyes físicas, a un principio naturalista para la

construcción de los aspectos esenciales que constituyen a una normatividad.

Efectivamente, un principio normativo indica de manera precisa aquellas circunstancias en que la norma es cumplida, y la diferencia de aquellas situaciones en que la norma no se cumple.

En el caso de nuestra propuesta, tendríamos que aquellas circunstancias que estarían en consonancia con el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico, estarían cumpliendo la norma.

En contraposición, veríamos la diferencia con aquellas circunstancias que no estarían en concordancia con este estado de alejamiento del equilibrio termodinámico y que, por tanto, no estarían cumpliendo con la norma.

Lo que creemos que es interesante en nuestro planteamiento, es que la norma a la que nos hemos estado refiriendo permite de manera esencial que estos sistemas existan.

En consecuencia, esta normatividad es derivada naturalmente del mundo físico.

Más aún, resulta que esta normatividad la encontramos que está proviniendo del sistema, y lo más revelador es que está siendo dictada por el mismo sistema, hacia sí mismo.

En sus orígenes, lo que tendríamos quizá sería una *definición normativa de la noción información-función*.

Es a partir de la aparición inicial de ambas ideas, que podemos postular que con posterioridad una suerte de **quiebre de simetría** pudo haber surgido en la noción primitiva.

De este modo:

*Ya nos encontraríamos con ambas características actuando independientemente (aún cuando en ocasiones; en determinadas condiciones, las veríamos interactuar como lo hacían en sus inicios), y con la posibilidad de incrementar los niveles de complejidad y sofisticación en cualquiera de ellas, o, en ambas.*

Todo lo anterior tomado en su conjunto, nos lleva hacia la tesis que aquello que inicio el proceso del pasaje de lo inanimado hacia lo animado, pudo haber sido producido por la aparición de un tipo de sistema dinámico cuya organización es una *organización dinámica informacional y funcional*.

La idea normativa de las funciones (comprendemos a las funciones como “*estar contribuyendo a que*”), se encuentra precisamente en esta normatividad interna que es producida en el sistema dinámico informacional, por los componentes y procesos que lo sostienen y lo constituyen.

Y que todo esto, es lo que crea una tendencia a mantener el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Consideramos, que la función se encuentra localizada en la acción que genera determinado proceso.

Y que nosotros podemos entenderlo, como “que contribuye” (coopera, favorece, o, suple), a la interrelación e interdependencia entre los procesos con vistas hacia el mantenimiento del estado de alejamiento del equilibrio termodinámico (Riofrio 1998).

En el interior de un proceso, cada componente tendrá el mecanismo que es propio a su constitución química, pero tal acción química (o, grupo de acciones), tendrá su *raison d'être* debido al proceso.

Entonces, cada proceso que lleve a cabo una determinada y particular acción (realizada por los nexos causales entre los mecanismos de los componentes moleculares que lo constituyen), será asimilado al interior de su dinámica organización solamente si esa particular acción se presenta como manteniendo, mejorando, o, logrando el alejamiento del equilibrio.

Y esta acción, es precisamente **su función**, en esta lógica organizacional de los sistemas dinámicos informacionales.

En consecuencia, **una función** es algo que contribuye, o, facilita el mantenimiento, o, el incremento del estado de alejamiento del equilibrio.

De otro lado, **una disfunción**, es algo que impide, o, va contra el mantenimiento del estado de alejamiento del equilibrio.

En lo referente a la noción de información, cualquier tipo de señal, o, signo puede ser el transporte de algo que puede ser información (y que podemos llamarlo 'información potencial').

Considero que una señal, o, un signo es una variación de materia-energía (una onda de sonido, una variación electromagnética, la concentración de un compuesto químico, un cambio en el pH, entre otros).

La señal, o, signo que es el medio de transporte de una 'información potencial' debe estar en su entorno, en el interior, o, debe haberse transmitido a algún componente del sistema.

Un punto que es muy importante en nuestra idea, es que la información –propiamente dicho, La Información-, “*tiene un significado*” (una muy básica semántica) que es creada en el interior del sistema.

Como Menant diría, “es una información significativa” (“It is meaningful information.”) (Menant 2003).

En el interior de una perspectiva naturalista, cualquier signo, o, señal, o, información debe siempre existir con respecto a algo más y no ser como impuesto por algún observador (podemos encontrar otras aproximaciones a la biosemántica en, por ejemplo, (Millikan 1984, 1989, 2002; Emmeche 2004; Kull 2005), entre otras).

Por lo tanto, no acepto la existencia de cosas como señales, signos, o, informaciones como existiendo por sí mismos.

Siguiendo este camino, podremos afirmar que la información será siempre la información para el sistema.

¿Cómo se puede entender ésta información para éste sistema?

Primero que nada, la información potencial que transporta el signo debe haber sido incorporada a algún proceso.

Y es a partir de ese proceso particular, desde donde la información puede ser transmitida.

En segundo lugar, la 'información potencial' se vuelve información ("*información con significado*" para el sistema), dado que es capaz de producir algo (un efecto), en el proceso que la incorporó, o, en algún otro proceso que está directa, o, indirectamente conectado al proceso inicial que la incorporó.

O también, puede producir un efecto en algún aspecto de las constricciones, que están participando activamente en la mantención del alejamiento del equilibrio termodinámico.

En tercer lugar, este efecto tiene una repercusión en el sistema.

El efecto, influenciaría la propia dinámica organización de estos sistemas.

Para propósitos de nuestro trabajo, usaremos la noción de cohesión acuñada por Collier (Collier 1986, 2004).

Cohesión es la idea que proveería al sistema dinámico informacional de su identidad, en todas sus transformaciones en el tiempo.

Tal cohesión, estaría constituida por el grupo de relaciones e interdependencias que existen entre los procesos.



Es una definición relacional y dinámica que abarca a la naturaleza de la organización del sistema.

En este sentido, el efecto de la información que tiene significado para el sistema puede ser en el mantenimiento, o, el incremento de la cohesión del sistema.

De igual modo, el efecto podría producir algún nivel de interferencia en la cohesión del sistema, posiblemente, interrumpiendo uno, o, más de sus procesos.

Está claro que la información significativa puede ser causada por algún signo (que transporta la información potencial), que proviene del medio circundante, así como, algún signo que es generado en el interior de la dinámica organización del sistema.

Pero en todos los casos, sean estos efectos a favor, o, sean estos en contraposición a la cohesión del sistema, será el sistema el que elaborará una respuesta, que estará correlacionada con esta particular información significativa en conjunción con el proceso, o, los procesos envueltos en el efecto.

Imaginemos una situación ideal, en la cual todos los procesos del sistema ejecutan cada una de sus acciones, de una manera perfectamente balanceada e interdependiente.

En esta situación, el sistema dinámico informacional estará normalmente alejado del equilibrio termodinámico:

*Esto implica que habrá una sostenida correlación entre los procesos, tal que, la tendencia hacia la irreversibilidad puede incrementar.*

En este caso ideal, podemos ver qué es lo que está sucediendo en el sistema en su totalidad, qué es lo que sucede entre los procesos, y también, qué es lo que está sucediendo en el interior de cada uno de estos procesos. En este caso, cada proceso realiza su función (contribución) determinada, en la cual, esta integrada red de relaciones se dirige hacia la cohesión del alejamiento del equilibrio del sistema.

Al mismo tiempo, la información generada en cada proceso y en la interacción dentro de esta integrada red de procesos, será considerada por el sistema como un tipo de chequeo del sistema, para ver si la cohesión no ha sido perturbada.

En este sentido, el estado de estar distante del equilibrio termodinámico, se comporta como la norma más fundamental que el sistema se impone así mismo. Por la cual, cada una de las estrategias elaboradas por el sistema (cada componente, proceso, relación, o, la gestión de energía-materia que aparezca) estarán dirigidas a mantener, o, estar en concordancia con esta norma.

Y podrán ser incorporadas hacia el interior del sistema, como parte de su estructura dinámica.

## **Capítulo 2.**

### **El Origen de la Información Biológica**

En este segundo capítulo nos abocaremos a explorar la noción de información biológica. Analizaremos si la noción de información genética, es equiparable a la de información biológica. Además, estudiaremos las relaciones que se establecen entre los signos, la información, la materia y la energía del universo, en el interior de una aproximación naturalista. Asimismo, nos preguntaremos si existe alguna relación entre las nociones de información biológica y el significado.

## **2.1 *Introducción***

Empezamos nuestras reflexiones sobre la noción de información biológica, proponiendo que la elaboración de una aproximación naturalista para este tópico, tendría grandes posibilidades de brindar las suficientes luces que necesita una noción tan difícil de aproximar.

De igual modo, también sostengo que una argumentación de corte naturalista sobre la noción de información biológica nos podría aclarar, al mismo tiempo, todo lo referente a las causas que se encontrarían en el centro de la dinámica que hizo posible los orígenes de la organización celular.

Para empezar esta parte de mi trabajo, tengo que dejar constancia de la creciente convicción que se tiene acerca del rol cada vez más importante de la noción de información como un 'ladrillo de construcción fundamental' en la ciencia física y otras ciencias.

Investigadores reconocidos en este tópico, sostienen que la noción de información no es un constructo de la mente, más bien, parece que resultaría ser un elemento fundamental del mundo físico (Lloyd 2000, 2006; von Baeyer 2005; Seife 2006).

Es importante mencionar en la introducción a este capítulo que trata sobre el origen y naturaleza de la información biológica, la afirmación que formará parte central de mi argumentación, a saber: sostengo que la noción de 'información biológica' no se refiere únicamente a – ni se aborda exhaustivamente con –, la idea de 'información genética'.

Y ello es tan así, hasta el grado de considerar a la noción de información biológica como parte del conjunto que constituye a lo más básico y fundamental del fenómeno biológico.

En consecuencia, es en este contexto que preguntas como la siguiente resultan muy oportunas: ¿Cómo podemos explicar que los sistemas vivientes se encuentran permanentemente recogiendo muchos tipos de información de y sobre su entorno? ¿Y cómo entender el grado de efectividad y adecuación que esgrimen al momento de responder a ellos?

Para poder brindar una respuesta tentativa a estas preguntas, definiendo la perspectiva de análisis que sostiene que la información es una parte integral y fundamental de todo aquello que pueda ser denominado como **“lo biológico”**.

Como otros investigadores afirman, nuevas incursiones sobre los procesos fundamentales de la vida podrían alcanzarse a partir de un entendimiento más profundo del rol que la información se encuentra jugando en la biología (Kauffman et al. 2008).

En las últimas décadas, el debate sobre el origen de la vida ha sido enfocado a partir de la controversia entre los escenarios “Primero el ARN”, o, “Primero el Metabolismo”.

Y sobre este tópico, las propuestas más conocidas que se hayan esgrimido, tienen básicamente que ver con los comportamientos (y propiedades) de los ácidos nucleicos, las proteínas y los lípidos (Eigen & Schuster 1979; Gilbert 1986; Szathmáry & Demeter 1987; Segré et al. 2001).

Una alternativa a uno de estos escenarios, ha sido propuesta por Wächtershäuser. La “surface metabolism theory”, contiene dos axiomas fundamentales: (1) la fuente de energía para la vida es la formación de pirita a partir del  $H_2S$  y el  $FeS$ ; (2) un arcaico ciclo de Krebs reverso, es puesto en el centro de la red metabólica (Wächtershäuser 1988).

Aún cuando, la propuesta de Wächtershäuser es muy interesante pues se sabe que el ciclo de Krebs reverso (o, ciclo del ácido cítrico reductivo), es usado como una alternativa del ciclo de Calvin para la fijación del  $CO_2$  por muchos organismos anaerobios (Hu & Holden 2006), nos encontramos con que falla en explicar cómo un ciclo de estas características puede ser auto-organizado a partir de sus componentes primarios (Orgel 2000; Schuster 2000; Ross 2007):

“...La elección del sistema  $FeS/FeS_2$  como el apoyo para el ciclo del ácido cítrico reductivo es particularmente apropiado en lo que se refiere a los pasos reductores... Sin embargo, el argumento para el reclamo más general que todo el ciclo se auto-organizaría en la superficie, requiere de un examen más detenido...La auto-organización de un ciclo complejo, como el ciclo reductor del ácido cítrico, esta vez en la superficie del  $FeS/FeS_2$ ; aunque lógicamente posible, es muy poco probable. La demostración experimental de una secuencia de reacciones,

incluyendo algunas de las reacciones “difíciles”, es necesaria para dar credibilidad a la teoría...”<sup>1</sup>.

“...Por lo tanto, una explosión combinatoria es una amenaza universal a las secuencias y estructuras de los biopolímeros, así como, a las redes de reacción y de control...Si esto es cierto, ¿cómo, entonces, pueden originarse los objetos organizados?... ¿Cuáles son las fuerzas químicas motrices, o, los mecanismos de reacción que dan forma a las redes organizadas: por ejemplo, aquellas que vemos en la naturaleza?... Aún cuando la naturaleza autocatalítica del ciclo del ácido cítrico es un argumento convincente en favor de su papel en un escenario prebiótico, debemos tener en cuenta que las reacciones en los tiempos presentes son llevadas a cabo por proteínas muy específicas. En la actualidad, no existe evidencia experimental clara que tal ciclo de reacciones funcionaría de manera eficiente sin catálisis enzimática...”<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> “...The choice of the FeS/FeS<sub>2</sub> system as the support for the reductive citric acid cycle is particularly appropriate as far as the reductive steps are concerned... However, the argument for the more general claim that the whole cycle would self-organize on the surface requires closer examination... The self-organization of a complex cycle such as the reductive citric acid cycle, this time on the surface of FeS/FeS<sub>2</sub>, although logically possible, is very unlikely. The experimental demonstration of a sequence of reactions including some of the “difficult” reactions is needed to give any credence to the theory...” (Orgel 2000, pp. 12505-12506).

<sup>2</sup> “...Thus, combinatorial explosion is a universal threat to biopolymer sequences and structures as well as reaction and controlling networks...If this is true, how, then, can organized objects originate?...Which are the chemical driving forces or reaction mechanisms that shape organized networks: for example, those we see in nature?...Although the autocatalytic nature of the citric acid cycle is a convincing argument in favor of its role in a prebiotic scenario, we should keep in mind that the reactions are now carried out by highly specific proteins. At

“...Por tanto, es evidente que un ciclo reductivo del ácido cítrico no enzimático sería tan cuestionado tanto cinética como termodinámicamente, como para llegar a ser realizable. El ciclo propuesto no podría haber existido como un precursor de la biosíntesis en la Tierra primitiva...”<sup>3</sup>.

Es aleccionador visualizar la disyuntiva entre “Primero el ARN” o, “Primero el Metabolismo” a partir de la propuesta de Eigen (1971), que la identifica con la relación entre la información biológica y la función biológica: siendo así un dilema “el huevo, o, la gallina”.

Podemos entender así, que la cuestión que plantea este dilema se encuentra más allá de ser sólo un problema histórico.

Pues, antes que preguntar cuál de ellos estuvo primero, es con mucho más importante y crucial, el que nos preguntemos cuál de ellos pudo haber dado inicio con los procesos evolutivos prebióticos.

Por ello, reconocemos que la solución al anterior dilema debe pasar, necesariamente, a través de un mejor estado de entendimiento de la noción de información biológica (Wills 1994) y, también, a través del diseño de una definición de las funciones que pueda brindarse en términos naturalistas (Collier 2000).

Otra aproximación interesante es la teoría chemoton, que concibe el problema del origen de la vida por intermedio de la búsqueda de

---

present, there is no clear experimental evidence that such a reaction cycle would work efficiently without enzyme catalysis...” (Schuster 2000, pp 7678-7679).

<sup>3</sup> “...It is thus apparent that an enzyme-free reductive citric acid cycle would be so challenged both kinetically and thermodynamically as to be unattainable. The proposed cycle could not have existed as a precursor to biosynthesis on early Earth...” (Ross 2007, p. 64).



los componentes mínimos que englobarían a las formas vivas más básicas.

Este supersistema químico comprendería a tres subsistemas: una red metabólica, una plantilla de replicación y un sistema divisorio con el exterior (Szathmáry et al. 2005).

El modelo chemoton fue introducido por Gánti en 1971, como un modelo fundamental de los sistemas vivos (Gánti 2003).

Aún cuando la teoría chemoton, contiene muchas interesantes propuestas en lo referente al problema ¿‘qué es la vida’?, nosotros nos aproximaremos a esta interesante pregunta desde otro marco de referencia.

Nuestro marco referencial, es el que propone que **los aspectos centrales de la vida** fueron desarrollados en el pasado distante, exactamente en el momento en donde las dinámicas de los sistemas químicos y fisicoquímicos alcanzaron otro tipo de dinámica, una muy similar a la dinámica de lo viviente.

En otras palabras, que el pasaje del mundo de lo inanimado hacia el mundo de lo animado, necesita de la existencia de una fase de transición: *“La dinámica del mundo prebiótico”*.

## **2.2 Una propiedad global: Autonomía**

En estos momentos podemos plantear lo siguiente: ¿cuáles son las propiedades esenciales que nos permiten determinar y caracterizar la dinámica organizacional de los sistemas vivientes?

Sabemos que los sistemas biológicos se auto-organizan y se auto-reproducen.

Además, se constata que la dinámica organizacional de estos sistemas está compuesta de muchos niveles y tipos de procesos. Los que a su vez se encuentran interconectados y que son interdependientes (Fontana & Buss 1994; Furusawa & Kaneko 2002).

De otro lado, una de las propiedades globales más características de los sistemas biológicos es aquella que le permite comportarse como un agente autónomo respecto de su medio ambiente (Kauffman 2000, pp. 49–79).

Un agente autónomo es definido por Kauffman, como un sistema que es capaz de reproducirse y que pueda llevar a cabo uno, o, más ciclos de trabajo termodinámico (Ibid, p. 53).

El ‘agente autónomo’ de Kauffman es una definición relacional, y conecta la noción de ‘trabajo’ con la noción de ‘constricción’:

“...Así que parece que hemos llegado a un círculo interesante. A veces se necesita del trabajo para construir constricciones, y se necesita de las constricciones para conseguir trabajo. ¿Siempre se necesita al trabajo para construir las constricciones? No...¿A menudo se necesita del trabajo para la construcción de constricciones? Sí...”<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> “So we appear to come to an interesting circle. It sometimes takes work to construct constraints, and it takes constraints to get work. Does it always take work to construct constraints? No...Does it often take work to construct constraints? Yes...” (Kauffman 2000, p. 97).

Por medio de la cita anterior, se puede deducir que un agente autónomo tendría cierto nivel de independencia de los cambios en las condiciones de sus alrededores.

Al mismo tiempo, contendría las fuerzas que le permitirían un acomodo de su medioambiente, a los niveles que sean los compatibles con su supervivencia.

En otro trabajo, Kauffman desarrollará aún más el término acuñado como agente autónomo (Kauffman 2003).

En esta definición, observamos de modo más claro tanto a la componente autónoma, como la componente agencial.

Primeramente, la capacidad para reproducirse asimismo, es conectada con ambos aspectos:

“...es mostrar un ejemplo conceptual de un agente autónomo molecular... se pretende hacer concretos los conceptos involucrados... Se trata de un sistema molecular capaz de reproducirse, compuesto por un hexámero de ADN de cadena sencilla y dos trímeros; que son sus complementos Watson-Crick , acoplados a un motor molecular que conduce a un exceso de replicación del hexámero de ADN. Todo el sistema es una nueva clase de redes de reacción química termodinámicamente abiertas. Este sistema incorpora la materia y la energía en las formas de

los dos trímeros de ADN y una corriente de fotones...”<sup>5</sup>.

De acuerdo con Kauffman, en este hipotético agente autónomo – el hexámero de ADN – es capaz de comportarse como una enzima que une los dos trímeros formando, de esta manera, una copia del hexámero original.

Esta reacción, se encuentra acoplada con el rompimiento exergónico del enlace del pirofosfato ( $PP_i$ ) que produce dos monofosfatos  $P+P$ .

De esta manera, la razón característica en el equilibrio entre los hexámeros y los trímeros no se alcanza, debido fundamentalmente a este ‘motor químico’, el ciclo de reacción  $PP_i \rightleftharpoons P + P$ : este rompimiento exergónico es usado para producir el exceso de la síntesis endergónica del hexámero.

Una vez que el  $PP_i$  ha sido usado para producir la síntesis endergónica del exceso del hexámero, la restauración de la concentración del pirofosfato – cuya síntesis es igualmente endergónica –, se lleva a cabo a partir de dos monofosfatos y el suplemento de un electrón que absorbe un fotón.

De este modo, la continuación de la síntesis de hexámeros seguirá produciéndose; en la medida que, después que la

---

<sup>5</sup> “...is to exhibit a conceptual example of a molecular autonomous agent... it is meant to make concrete the concepts involved... It consists of a self-reproducing molecular system comprised of a single-stranded DNA hexamer and two trimers, which are its Watson-Crick complements, coupled to a molecular motor that drives excess replication of the DNA hexamer. The entire system is a new class of open thermodynamic chemical reaction networks. This system takes in matter and energy in the forms of the two DNA trimers and a photon stream...” (Kauffman 2003, p.1091).

concentración del  $PP_i$  decaiga, se vuelva a producir la re-síntesis del  $PP_i$ .

Así, este sistema contiene un sub-sistema auto-reproductivo; los trímeros, el hexámero y el 'motor químico' anteriormente mencionado.

Como el mismo Kauffman señala:

“...El sistema se come trímeros y fotones y, a través del ciclo de trabajo, bombea esa energía hacia el exceso de la síntesis del hexámero...El sistema sólo funciona si se desplaza del equilibrio químico en la dirección "correcta", hacia un exceso de trímeros y fotones. La agencia sólo existe en los sistemas desplazados del equilibrio...”<sup>6</sup>.

Un punto muy interesante a resaltar, es que en el interior de la argumentación central del trabajo citado de Kauffman, se plantea que aún existe una **ausencia de una teoría de la organización**:

“...Dije que no tenemos una teoría de la organización, pero tengo la profunda sospecha de que esta vinculación recíproca de trabajo y constricciones sobre la liberación de energía que

---

<sup>6</sup> “...The system eats trimers and photons, and, via the work cycle, pumps that energy into the excess synthesis of hexamer... The system only works if displaced from chemical equilibrium in the 'right' direction, towards an excess of trimers and photons. Agency only exists in systems displaced from equilibrium...” (Kauffman 2003, p. 1093).

constituye trabajo es parte de esa teoría. Si es así, obsérvese que ésta no es parte de la física actual, ni de la química, ni de la biología...”<sup>7</sup>.

Actualmente, aceptamos que una de las propiedades globales más importantes que caracterizan a los sistemas vivientes es la autonomía.

Sin embargo, la pregunta acerca de cómo esta importante propiedad global pudo haber emergido en una clase de dinámica auto-organizativa de compuestos moleculares simples, permanece aún sin encontrar respuesta. Por ello, mi tesis es un intento de solucionar este vacío conceptual

Desde un punto de vista termodinámico, las estructuras disipativas son sistemas abiertos, y los fenómenos de auto-organización son producidos debido a los continuos cambios en las interacciones locales de los componentes que conforman a estos sistemas dinámicos (Nicolis & Prigogine 1977).

Sin embargo, si por ejemplo tomáramos a la reacción Belousov-Zhabotinskii (B-Z), nosotros no podríamos encontrar muchas similitudes – más que aquellas características que son genéricas a toda estructura disipativa –, con la clase de auto-organización dinámica que poseen los sistemas vivientes.

---

<sup>7</sup> “I said we have no theory of organization, but I have the deep suspicion that this reciprocal linking of work and constraints on the release of energy that constitutes work is part of that theory. If so, notice that this is not part of physics at present, nor of chemistry, nor of biology...” (Kauffman 2003, p. 1094).

En otras palabras, los sistemas vivos son sistemas que ciertamente se auto-organizan, sin embargo, contienen adicionales otras características que van más allá de aquellas que poseen los fenómenos más comunes de auto-organización.

Más aún, los sistemas vivos tendrían propiedades muy especiales – aquellas que se encontrarían en lo que de sustantivo generó su emergencia auto-organizativa.

Así, proponemos que estas propiedades centrales podrían haberse formado – podrían haber emergido –, en aquel movimiento que produjo el tránsito desde lo inanimado hacia lo animado: los albores del mundo prebiótico.

### **2.3 *Sobre los Signos en Biología***

El tema sobre el pasaje de lo inanimado hacia lo animado es uno de los más grandes y más interesantes problemas que se pueden abordar en las ciencias y en la reflexión filosófica.

Este problema, continua siendo una interrogante que sigue planteando confrontaciones y sigue desconcertando a las distintas aproximaciones que se realizan (por ejemplo, Barabási & Oltvai 2004; Maturana & Varela 1973; Quastler 1964).

En este punto de mi argumentación, podría parecer interesante sugerir como una posibilidad aquello que ya planteaba Pattee:

“...La vida se distingue del mundo no-vivo por su dependencia hacia los signos...”<sup>8</sup>.

Esta afirmación automáticamente nos lleva a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la naturaleza de los signos?

Es preciso mencionar en estos momentos, que existen muchos problemas que necesitan ser remontados antes de estar en condiciones de realizar alguna aproximación en la cual la naturaleza de los signos pudiera ser vista a partir de una perspectiva naturalista (Hoffmeyer 1996; Pattee 1995; Sebeok 1991, 1994).

Si en el reino del mundo de lo viviente, las diferentes clases de interacciones estarían siendo mediadas por signos. Y si adicionalmente, se puede postular que estos a su vez se encontrarían gobernados por cierto tipo de reglas. Entonces, el siguiente paso, es plantear una hipótesis de cómo se encontrarían relacionados la producción de códigos, señales, o, signos, con la emergencia de las reglas que los gobiernan.

De manera tal, que se pueda brindar una explicación en términos naturalistas de toda esta fenoménica. Más adelante, en el parágrafo 2.3.2 abordaré estos tópicos en detalle.

### **2.3.1 Emergencia y Procesos Biológicos**

A este nivel en el trabajo, me parece importante dedicarme a presentar de manera sucinta la problemática que genera aceptar

---

<sup>8</sup> “...Life is distinguished from the nonliving world by its dependence on signs...” (Pattee 2005, p. 299).



la emergencia de nuevos fenómenos y procesos en nuestro universo físico. Resulta evidente que realizar un estudio detallado de la noción de emergencia rebasa completamente los alcances de esta tesis. Por tanto, me dedicaré exclusivamente a la defensa de que los fenómenos biológicos son emergentes.

No creo decir algo relevante al sostener que la noción de emergencia se ha constituido en un tema de debate importante, tanto en las ciencias como en la filosofía, de los últimos cuarenta años.

Asimismo, la gran variedad de aproximaciones y contextos que sobre este término se han desarrollado (en conjunción con el arsenal de conceptos conectados a la noción de emergencia), justifican un estudio más detallado del que nos planteamos. Estudio que rebasa con mucho los alcances de este trabajo de disertación.

Por ello, nuestro pequeño aporte se verá muy centrado en la noción de emergencia entendida desde la vertiente ontológica, pues sostengo que la fenomenica que hizo posible el origen de y a lo propiamente viviente, podría muy bien constituir un posible ejemplo de emergencia ontológica.

En el capítulo anterior, ya había adelantado que los aspectos centrales de la propuesta genérica que defiendo en este trabajo de tesis descansan sobre una noción de emergencia entendida en sentido fuerte (Bar-Yam 2004).

Normalmente, se considera que el concepto de emergencia se refiere a fenómenos en donde “el todo es mayor que la suma de sus partes”. Por ello mismo, nos parece importante preguntarnos por los componentes que serían cruciales y que se encontrarían involucrados, de manera sustantiva, en una definición adecuada de emergencia.

Así, podemos mencionar que entre los componentes más importantes envueltos en una definición de emergencia tendríamos a: la novedad conceptual, la novedad ontológica, la impredecibilidad, la relacionalidad, la influencia causal ‘hacia abajo’, la superveniencia, la irreductibilidad (Francescotti 2007; Bedau & Humphreys 2008).

Y en donde de manera fundamental, se pretendería encontrar las acepciones más apropiadas de sus componentes centrales que nos permitieran lograr edificar una definición de emergencia que recogiera -en un sentido importante-, lo sustantivo de una fenoménica que mostrara a todas luces que ‘la totalidad pueda realmente ser considerada más que la suma de sus partes’.

En lo que sigue de la presente sección, me dedicaré a presentar las alternativas más promisorias del debate contemporáneo sobre la noción de emergencia ontológica (cito a McLaughlin 1992, para los interesados en una búsqueda más histórica sobre este tema). Por tanto, realizaré una sucinta descripción de aquellos famosos intentos que pretenden construir sus argumentos, tanto para el logro de su defensa, como para el de su descalificación.

En primer lugar, se encuentra el argumento fisicalista que sostiene una posición eliminativista sobre la emergencia.

Nos parece que resultará de sumo interés poner atención a sus argumentos, pues sospecho que su análisis nos podría brindar ciertas luces sobre aquellos vacíos que parece que dejan las acepciones más usuales de los componentes conceptuales involucrados en la definición de emergencia<sup>9</sup>.

Además, es posible que al llegar a ser de alguna manera subsanados se generarían las bases para la edificación de una noción más sólida de emergencia pues levantaría, sino todos, al menos la mayoría de los reparos que esgrime en su contra esta postura fisicalista.

El fisicalismo en su versión estándar sostiene que lo realmente existente en el universo son cosas físicas, que poseen propiedades físicas. Aún cuando esta postura filosófica no descarta que puedan existir entidades que a primera instancia no parezcan físicas, por ejemplo, entidades biológicas, psicológicas, sociales, morales, etc., ello no significa que en última instancia no estén constituidas por entidades, o, relaciones de cosas físicas.

De este modo, el fisicalismo afirma que es en lo físico en donde reside de manera fundamental el poder causal de los fenómenos del universo. Y todo aquello que no pareciera físico en primera instancia resulta, en realidad, tratarse de un epifenómeno de (o, supervenir –sobrevener- sobre) lo físico

(Neurath 1931; Carnap 1932/1933; Hempel 1949; Davidson 1970).

Es en Lewis (1986) que vemos una manera simple de ejemplificar la superveniencia (o sobreveniencia) a partir de una matriz de puntos, y en donde podemos apreciar las ideas básicas del fisicalismo:

“...Una imagen de matriz de puntos tiene propiedades globales - es simétrica, es desordenada, y otras cosas - y, sin embargo, todo lo que hay en la imagen es puntos y no-puntos en cada punto de la matriz. Las propiedades globales no son más que los patrones en los puntos. Ellas sobrevienen: no hay dos imágenes que puedan diferir en sus propiedades globales sin diferir, en alguna parte, en si hay o no hay un punto...”<sup>10</sup>

En la cita básicamente se nos dice que los rasgos físicos del mundo son como los puntos en la imagen, y las características psicológicas, o, biológicas, o, sociales del mundo son como las propiedades globales de la imagen. Así como las características

---

<sup>9</sup> En lo sucesivo, salvo se indique lo contrario, usaré el término “emergencia” para referirme a la emergencia ontológica.

<sup>10</sup> A dot-matrix picture has global properties — it is symmetrical, it is cluttered, and whatnot — and yet all there is to the picture is dots and non-dots at each point of the matrix. The global properties are nothing but patterns in the dots. They supervene: no two pictures could differ in their global properties without differing, somewhere, in whether there is or there isn't a dot (Lewis 1986, p. 14).

globales de la imagen no son más que un patrón en los puntos; así también, lo psicológico, lo biológico y las características sociales del mundo no son más que un patrón en las características físicas del mundo.

Y en lo referente al uso de la superveniencia: al igual que las características globales de la imagen supervienen en los puntos, así mismo, el fisicalismo diría que todo en la realidad sobreviene en lo físico (más adelante presentaremos con más detenimiento las relaciones que se establecen entre la superveniencia -o sobreveniencia- y el fisicalismo).

Es preciso mencionar aquí, que aún cuando las discusiones y propuestas más detalladas de las diferentes variantes de fisicalismo se han desarrollado en el ámbito de los problemas asociados a la filosofía de la mente, no me detendré específicamente en estos temas puesto que los objetivos de esta tesis se dirigen a otros sectores del proceso evolutivo: los orígenes del mundo prebiótico. Sin embargo, menciono algunas referencias de interés sobre estos apasionantes temas: Putnam 1967; Smart 1978; Block 1980; Lewis 1983; Kim 1993.

Sin embargo, sí me parece muy oportuno referirme al conjunto de reclamos metafísicos que se encuentran en el fisicalismo, pues sostiene que es en lo físico en donde reside lo metafísicamente fundamental.

No solamente la sustancia de las cosas es física. Además, la naturaleza fundamental del universo es física, y esto incluye

tanto a los eventos como a las propiedades del universo. De este modo, la postura fisicalista implicaría lo siguiente:

(1) las propiedades identificadas por la física constituyen la naturaleza fundamental del universo;

(2) las leyes físicas gobiernan a todos los objetos y eventos de la realidad;

(3) es válido el principio de '*clausura causal o completitud de la ciencia física*' que implica que cada evento físico tiene una causa física que se produce de conformidad con las leyes de la física.

Como se puede apreciar, esta perspectiva filosófica (que dominó gran parte de la metafísica de finales del siglo XX) no deja posibilidad alguna para la noción de emergencia, ya que apunta a una visión de la realidad fuertemente reduccionista.

En este momento, podemos seguir las reflexiones de Van Gulick (2001) para que se nos clarifiquen los reclamos y visiones que está defendiendo esta postura filosófica.

En efecto, el autor nos invita a profundizar nuestra reflexión para que vaya más allá de la fraseología reduccionista. En qué medida uno puede justificar aseveraciones como: "si los X's se reducen a los Y's; entonces, (1) los X's no son más cosas que Y's; (2) los X's son sólo clases especiales, combinaciones o complejos de Y's; entre otras frases similares.

Van Gulick nos indica que es preciso resolver primeramente (a) los tipos de elementos que están vinculados por la reducción,

así como, (b) la naturaleza del vínculo que se produce entre ellos. La primera cuestión es la pregunta sobre lo que la reducción vincula, relaciona, conecta. La reducción es una relación, pero ¿qué tipo de cosas vincula la reducción?

La segunda cuestión es la pregunta sobre la relación (vínculo, conexión) en la reducción. ¿De qué posibles maneras es necesario que los elementos se vinculen (conecten, relacionen) para que pueda contarse como una reducción? (Van Gulick 2001, pp. 2-3).

Las respuestas, continua Van Gulick, dependerán fundamentalmente del tipo de reducción que estemos estudiando. Para la primera cuestión, de los elementos que intervienen en la reducción, si la relación es entre los elementos del mundo real (objetos, eventos, propiedades, procesos, etc.), entonces, estaríamos en frente de una **Reducción Ontológica**.

En cambio, si los elementos que se relacionan son representacionales (teorías, conceptos, modelos, etc.) nos encontramos en frente de una **Reducción Representacional**.

Con respecto a la cuestión sobre la naturaleza del vínculo o relación, tenemos que para el caso de la Reducción Ontológica lo que se produciría es un **vínculo ontológico**, y la pregunta podría reformularse de la siguiente manera: ¿Cómo las cosas deben estar relacionadas para que la una pueda reducirse ontológicamente a la otra?

Habrían cinco posibles opciones para dicho vínculo ontológico: la eliminación, la identidad, la composición, la superveniencia y la realización (Van Gulick 2001, pp. 4-9).

En lo referente al vínculo para las representaciones en la Reducción Representacional hablaríamos de un **vínculo representacional** (sobre sus distintos tipos ver Van Gulick 2001, pp. 10-15).

Como podemos apreciar, existirían dos grandes clases de reduccionismo. Y es precisamente la Reducción Ontológica la que resulta más acorde para los propósitos de nuestra argumentación. Por ello, me interesará focalizar mi investigación en los posibles vínculos ontológicos de reducción que corresponden a la composición, la superveniencia y la realización. Pero antes, tengo que dedicar mi atención a las propuestas que existen sobre la emergencia.

Es así que tenemos a las distintas versiones que defienden la existencia de la emergencia. Sin pretender ser exhaustivo en mis caracterizaciones, puedo mencionar que las diferentes aproximaciones privilegian determinados aspectos como determinantes para precisar si un fenómeno, estructura, proceso, dinámica (y similares) es o no es emergente.

Así, tenemos a los investigadores que consideran de suma importancia a la superveniencia (van Cleve 1990; Kim 2006), a la novedad (Anderson 1972; Humphreys 1996), a la irreductibilidad ontológica (Silberstein & McGeever 1999), a la autonomía de propiedades, fuerzas, o, leyes (Cunningham 2001,



Wilson 2002; O'Connor & Wong, 2005), a la eficacia causal (Sperry 1986; Searle 1992; Klee 1984; Schroder 1998), a la realizabilidad múltiple (Putnam 1967; Fodor 1974; Shoemaker 2001; Wimsatt 1996), entre otras aproximaciones.

Como una estrategia de ordenamiento conceptual, es conveniente que nos aproximemos a la noción de emergencia desde una perspectiva similar a la que presentáramos para el caso del reduccionismo:

“...las relaciones de emergencia pueden ser vistas ya sea como objetivas relaciones metafísicas que se establecen entre los elementos del mundo real; tales como las propiedades, o podrían ser interpretadas como parte de relaciones epistémicas que apelan en parte a lo que nosotros como agentes cognitivos podemos explicar o entender acerca de tales vínculos...”<sup>11</sup>.

En efecto, si la idea básica de la emergencia es más o menos la contraria de la reducción, no resulta sorprendente que nos encontremos también con dos tipos de clases: la Emergencia Metafísica y la Emergencia Epistémica.

Se puede mencionar que aún cuando la idea central de la emergencia se refiere a que aquello que es emergente “*es algo*

---

<sup>11</sup> “...emergence relations might be viewed either as objective metaphysical relations holding among real-world items such as properties, or they might be construed as partly epistemic relations that appeal in part to what we as cognitive agents can explain or understand about such links...” (Van Gulick 2001, pp. 16).

*más*” que sus constituyentes, no obstante, también es cierto que esos atributos o características emergentes de una totalidad o un complejo, no son completamente independientes de aquello que poseen sus partes, en el sentido que “esos atributos o características *emergen de*” aquellas partes.

Pero adicionalmente, la noción de emergencia implica que de alguna manera realmente significativa y novedosa esas características que son emergentes, van más allá de las características de esas partes.

A continuación, vamos a centrar nuestro análisis sobre los tipos de Emergencia Metafísica que contendrían como sus elementos a entidades reales, como las propiedades o procesos.

Pero antes, como cuestión preparativa, analicemos las implicancias que se derivarían de la siguiente cita:

“...Si hay o no casos de emergencia del tipo radical es objeto de controversia... La aceptación de la emergencia del tipo radical sería admitir que hay aspectos reales del mundo que existen al nivel del sistema o al nivel de una composición, y que no son determinados por las regularidades –que tienen características de una ley- que gobiernan tanto las interacciones de los componentes de dichos sistemas, como sus características. Hacerlo exigiría el abandono de la concepción atomista,

que suele ser aceptada por el fisicalismo dominante. La emergencia del tipo radical, requiere renunciar por lo menos a uno de los dos principios básicos del fisicalismo atomista (AP -en inglés-):

- AP1. Las características de los elementos del nivel macro son determinadas por las características que tienen sus micro-partes, más sus modos de combinación. (En un slogan: Las características micro determinan las características macro)

- AP2. Las únicas regularidades (que tienen características de una ley) necesarias para la determinación de las características macro por las características micro, son aquellas que gobiernan las interacciones de estas micro características en todos los contextos, sistémico o de otro tipo.

La idea en AP2 es que no haya leyes que regulen las características micro en contextos sistémicos distintos de los que rigen fuera de esos contextos. La intención es excluir a leyes especiales que entren en juego sólo en un limitado contexto sistémico. Una vez que las características micro y su distribución se hayan fijado, las necesidades micro por sí mismas son suficientes para determinar las propiedades macro del sistema. Ninguna otra ley o regularidad (que tenga

características de una ley) se necesitan para los resultados de nivel macro...”<sup>12</sup>

En esencia, el fisicalismo propone que las propiedades de los objetos -o de cualquier entidad del mundo-, están determinadas por las de sus partes físicas. Esta doctrina filosófica sostiene que el mundo real consiste sólo de materia y energía, y que todos los procesos orgánicos e inorgánicos pueden explicarse por referencia a las leyes de la naturaleza. El éxito general de la física para explicar una amplia gama de fenómenos en término de algunas leyes naturales básicas, tales como la gravedad, la electricidad, la composición de la masa, ha contribuido largamente al apoyo a este punto de vista. Dicho éxito, ha reforzado en gran medida la suposición que esta creencia en el fisicalismo se tenga como básicamente correcta.

---

<sup>12</sup> “...Whether or not there are cases of radical-kind emergence is controversial...Accepting radical-kind emergence would be conceding that there are real features of the world that exist at the system or composite level that are not determined by the law-like regularities that govern the interactions of the parts of such systems and their features. Doing so would require abandoning the atomistic conception, which is typically embraced by mainstream physicalism. Radical-kind emergence would require giving up at least one of two core principles of atomistic physicalism (AP):

- AP1. The features of macro items are determined by the features of their micro parts plus their mode of combination. (In a slogan: Micro features determine macro features.)
- AP2. The only law-like regularities needed for the determination of macro features by micro features are those that govern the interactions of those micro features in all contexts, systemic or otherwise.

The idea of AP2 is that there are no laws governing micro features in systemic contexts other than those that govern them outside such contexts. The intent is to exclude special laws that come into play only in restricted systemic contexts. Once the micro features and their distribution have been fixed, the micro necessities by themselves suffice to determine the macro properties of the system. No further laws or law-like regularities are needed to necessitate the macro outcomes...” (Van Gulick 2001, pp. 18).

De lo dicho anteriormente, se concluye que el fisicalismo atomista delineado en la cita de Van Gulick, reclama para sí que cualesquiera sean las características macroscópicas que posea alguna entidad en la realidad se encuentran, en todo momento, determinadas por las características microscópicas. Es decir, tanto la composición, como las propiedades de las entidades macroscópicas del universo son susceptibles de reducirse a las propiedades de -y a las distintas maneras en que pueden combinarse-, las entidades microscópicas que los componen.

El fisicalismo de corte atomista no considera que existan más relaciones entre los niveles micro y macroscópicos que los de la determinación reduccionista. En términos generales, el fisicalismo afirma que en la realidad existe solamente aquello que nos revela la ciencia física.

Así, dicha postura filosófica sostiene que únicamente existen las cosas físicas, por tanto, podemos afirmar que el fisicalismo representa a un tipo de monismo ontológico (Schaffer 2010).

Sin embargo, no es ajeno a la discusión filosófica el que la postura fisicalista haya sufrido innumerables ajustes y redefiniciones, conforme el avance del conocimiento científico ha ido comprendiendo más cabalmente ciertos fenómenos fundamentales que se producen en sus distintas disciplinas. Tal es el caso de la física cuántica (von Neumann 1955; Griffiths 2004), la química no-covalente y supramolecular (Steed & Atwood 2000; Lehn 2007), la biología de sistemas (Kitano 2002; Helikar et al. 2008), por citar sólo algunos casos emblemáticos.

Pero aún cuando estas redefiniciones se han encargado de “incluir” dentro de la concepción fisicalista y reduccionista todos estos nuevos conocimientos en las disciplinas que hemos mencionado y en muchas otras -incluidas las que pertenecen a las ciencias sociales-, nos seguimos preguntando ¿porqué, si fuera totalmente defendible científica y filosóficamente el ideal reduccionista de un fisicalismo, seguimos considerando como necesarias la existencia de las distintas disciplinas?

La existencia de niveles reales en nuestro universo físico, iría en contra de una ontología fisicalista y reduccionista. Pero de lo que debemos estar conscientes, es que aquí lo que se defiende es una postura filosófica que puede ser muy respetable (el fisicalismo), pero que, por sí misma, no determina ni crea a ninguna realidad en lo absoluto.

Además, si tomamos a la ciencia en que se fundamenta el fisicalismo, podemos observar que no hay nada en las investigaciones actuales de la física que, en principio, prohíba la posible existencia de algunas regularidades que pudieran gobernar a las características microscópicas -más allá de las que se han determinado en circunstancias físicas más usuales-, tal que, solamente se hicieran patentes en ciertas condiciones muy especiales. Y el posible descubrimiento de estas regularidades sería una cuestión empírica y no apriorística.

Si estas situaciones pudieran existir, entonces, se tendría un punto de agarre para defender la emergencia ontológica. En efecto, si es que existieran estas posibles situaciones, las

relaciones entre los niveles microscópicos y macroscópicos no serían exclusivamente las del tipo reductivo.

Es decir, que en el interior de esta perspectiva –para estas condiciones muy especiales-, se podría defender que existen propiedades y regularidades que no serían reducibles a las del nivel exclusivamente físico de la realidad.

En consecuencia, lo que fundamentalmente se estaría sosteniendo es que tales patrones macroscópicos no pueden ser aprehendidos por los conceptos y la dinámica de la física (y quizá, podríamos estar en presencia de ***otras formas de dinámica, diferentes a la dinámica de la física***).

Entre los pensadores participes de este tipo de emergencia pueden contarse a Teller (1992), quien sostiene que una propiedad es emergente si y sólo si no es explícitamente definible en términos de las propiedades no relacionales de cualquiera de las partes del objeto en cuestión.

Por su parte, Clark (1996) sugiere que un fenómeno es emergente sólo en el caso de que sea mejor comprendido atendiendo a los valores cambiantes de una variable colectiva.

En donde, una variable colectiva es aquella que revela el patrón resultante de las interacciones entre múltiples elementos de un sistema (en teoría de sistemas dinámicos, la variable colectiva es también llamada parámetro de control).

Cuando la variable colectiva incluye elementos tanto internos como externos al sistema, estamos ante lo que Hendrick-Jansen (1996) denominaría un fenómeno de emergencia interactiva.

Como vemos, en estas propuestas y otras similares, no se niega que la existencia de las interacciones de los niveles básicos de lo real -en conjunción con sus posibles modos de combinación-, tengan que ver de manera sustantiva con lo que ocurre al nivel macroscópico.

El sustrato micro físico permea a toda la realidad, en todos los instantes imaginables en la historia del universo. Tenemos que precisar, que esto no es lo que, en realidad, se encuentra en discusión.

Sin embargo, sí sostenemos que para afirmar que es posible hablar de la emergencia de propiedades, tenemos que referirnos explícitamente a características que involucran la participación de entidades físicas en ciertos contextos especiales: por ejemplo, según Teller las propiedades no relacionales de un objeto no pueden definir a una propiedad emergente. Y en la propuesta de Clark, sólo la resultante de las interacciones entre múltiples elementos de un sistema (el parámetro de control), puede adecuadamente estar involucrada en la existencia de un fenómeno emergente.

Cabría una cuestión adicional muy importante: supongamos que tenemos caracterizado totalmente al conjunto de las interacciones entre los componentes físicos, junto con sus posibles combinaciones, aún así, nos parece que este cuadro de lo real **no está** completo.

En particular, no parece que la noción de sólo “combinaciones” entre los elementos básicos de la física, pueda



lograr describir y menos aún explicar por qué y cómo se producen todos los fenómenos y propiedades que se empiezan a descubrir en los sistemas complejos dinámicos. Una célula, por ejemplo, no es solamente la “combinación” de sus componentes en proporciones específicas.

Aún cuando conociéramos a todas las macromoléculas, y demás entidades químicas, que se encuentran en el interior de una célula, aún así, “**combinándolas a todas ellas** en sus debidas proporciones” en un laboratorio con todos los cuidados necesarios, no sería posible obtener como resultante a esa entidad llamada célula.

Es por ello, que un sector creciente de la comunidad científica tiene la sospecha de que “algo” realmente esencial en nuestro conocimiento de lo biológico nos rehúye en los sucesivos y distintos intentos de aproximación científica (Polanyi 1968; Zimmer 2005; Macklem 2008).

La importancia de mi trabajo de investigación radica en que se aboca de manera central al intento de discernir y aclarar este “algo” que todavía no es abordado por las aproximaciones actuales.

Es decir, a pesar que el fisicalismo (los distintos tipos de fisicalismo) considera haber agotado todo lo que es realmente relevante para su argumentación, tal que, crea tener la capacidad de poder elaborar enunciados con el carácter universal, como aquellos que rezan “en todas las posibles realidades”, “en todos los mundos posibles”, o slogans similares,

el actual avance del conocimiento científico pone en tela de juicio tales asunciones.

En primer lugar, si volviéramos nuevamente a los principios básicos del fisicalismo atomista, nos parece que fundamentar al fisicalismo reduccionista en base a una concepción de lo físico que no toma en cuenta a los desarrollos de los últimos treinta o cuarenta años en distintos sectores de la física -empezando por la mecánica cuántica, pasando por la física de partículas, hasta las investigaciones recientes en astrofísica y los orígenes del universo-, hace que sus exigencias y reparos a la posible existencia de propiedades y fenómenos emergentes, no sean tan convincentes como lo fueron en pasadas décadas, dado que esos mismos reparos y exigencias, pueden esgrimirse como elementos en la elaboración de algunos argumentos dedicados al ataque de lo que implicaría un fisicalismo reduccionista.

Si nos centráramos únicamente en los resultados de dos grandes líneas de investigación actuales en la astrofísica y la física teórica, podríamos apreciar cómo se generaría de manera muy natural la siguiente pregunta: ¿cuáles, si los hay, son las razones y evidencias empíricas que hacen válido aceptar la existencia de los **principios básicos** de un fisicalismo atomista (señalados en páginas previas) que reclamarían la no existencia de algo en la realidad que podría tener visos de caracterizarse como “lo emergente”?

Pues actualmente ya no es algo tan claro señalar cuántas serían -ni de qué manera interactúan-, las partículas

elementales. Además, ¿cómo sabemos con certeza si las propiedades de lo físico -junto con sus características en condiciones de aislamiento y en otros contextos-, son solamente las que actualmente **decimos que conocemos?** (e.g., el problema de la infra-determinación de las teorías, Quine 1975).

Nos preguntamos, en este contexto, por cómo lograría compatibilizar racionalmente la vigencia de sus principios básicos el llamado fisicalismo atomista, primeramente con la propuesta teórica actual de un “*Universo Inflacionario*” (Linde 1990) y, en segundo lugar, con la posible existencia en el universo de lo que actualmente se denomina la “*Energía Oscura y Materia Oscura*” (Huterer & Turner 1999; Plionis et al. 2011):

“...La inflación eterna, una vez considerada como una curiosidad extravagante...se ha convertido en lo más central de la cosmología...la evidencia actual de la expansión cósmica acelerada y la inflación temprana indican...que puede conducir a la inflación eterna, por la cual las regiones locales con propiedades potencialmente diversas (“universos de bolsillo”) se producen ... Debido a que un universo de bolsillo se separa del trasfondo en inflación...por lo general se asume que otros supuestos universos de bolsillo no podrían tener un impacto observacional en nosotros ... Si suponemos una época corta de

inflación de dentro de la burbuja ... entonces la inflación abierta tendría varias firmas observables en la radiación de fondo cósmico de microondas ... una posible firma directa de la inflación eterna: el efecto de las colisiones entre los universos burbuja...”<sup>13</sup>

Una rápida expansión del universo temprano ofrece la mejor explicación hasta ahora de lo que observan los astrónomos. Una consecuencia de este concepto -conocida como la inflación eterna-, consiste en la agrupación de los universos burbuja (uno de los cuales es el nuestro) en un fondo que continuamente se está inflando. La colección de universos burbuja se conoce como el multiverso. Pero, además, tenemos esto otro:

“...después de muchos años de investigación, la **energía oscura** sigue siendo una pregunta, no una respuesta. Es el nombre que damos al hecho de que algo, un algo muy importante, se encuentra

---

<sup>13</sup> “...Eternal inflation, once widely regarded as an extravagant curiosity... has become increasingly central in cosmology... evidence for both present-time accelerated cosmic expansion and for early inflation suggest...can drive eternal inflation, by which local regions with potentially diverse properties (“pocket universes”) are produced...Because...pocket universe is separated from the inflating background...it is generally assumed that other supposed pocket universes could have no observational impact on ours...If we assume a short epoch of inflation within the bubble...then open inflation has several signatures observable in the cosmic microwave background...a possible direct signature of eternal inflation: the effect of collisions between bubble universes...” (Aguirre & Johnson 2008, pp. 123536-1).

ausente en nuestro conocimiento de la dinámica cósmica...”<sup>14</sup> (el énfasis es nuestro)

Por un lado, tenemos el hecho que la expansión de nuestro universo se encuentra acelerándose (en vez de haber disminuido su velocidad, como era la “lógica” conclusión del modelo cosmológico que tomaba como lo único real, solamente a la materia y la energía). Además de ello, los investigadores han llegado a postular la posible existencia de “algo más” que quizá estaría ausente de nuestro actual conocimiento de la “dinámica” del universo:

“...Diez años después de su descubrimiento, la aceleración de la expansión del universo está ahora firmemente establecida ... la expansión acelerada no puede ser explicada por ninguna forma conocida de materia o energía, sino que puede ser resuelta por una forma casi lisa de energía con gran presión negativa, conocida como energía oscura, que representa alrededor del 75% del universo ... Debido a sus múltiples y cercanas conexiones a problemas importantes en la física y la astronomía, la aceleración cósmica podría ser el misterio más profundo de la ciencia ... (y así) el

---

<sup>14</sup> "...after many years of research, dark energy is still a question, not an answer. It is the name we give to the fact that something, a very weighty something, is missing from our knowledge of the cosmic dynamics..." (Amendola & Tsujikawa 2010, pp. 427).

más grande desafío de todos, es una comprensión más profunda de lo que causa la aceleración cósmica...”<sup>15</sup>

Actualmente se calcula que nuestro universo está compuesto de un 76% de energía oscura, de un 20% de materia oscura (que es el nombre que reciben pues, su composición desconocida no emite o refleja suficiente radiación electromagnética para ser observada directamente con los medios técnicos actuales), y el resto de lo que **creíamos** que era lo únicamente real, constituye únicamente el 4% de lo que es nuestro universo.

Como podemos apreciar, estos nuevos, importantes, sorprendentes y revolucionarios descubrimientos en el ámbito de la cosmología y la astrofísica, se encontraban fuera de toda especulación racional -referida a aquello **“posible de existir”** -, que estuviera basada en los conocimientos anteriores de la física y la astronomía de hasta fines del siglo XX.

Más aún, este hecho concreto, nos impele a poner bajo una lente de cuestionamiento aquellos reparos que esgrimía el tipo de fisicalismo que estamos tratando. De manera fundamental,

---

<sup>15</sup> “...Ten years after its discovery, the acceleration of the expansion of the universe is now firmly established... accelerated expansion cannot be explained by any known form of matter or energy, but it can be accommodated by a nearly smooth form of energy with large negative pressure, known as dark energy, that accounts for about 75% of the universe... Because of its multiple close connections to important problems in both physics and astronomy, cosmic acceleration may be the most profound mystery in science...(therefore) The grandest challenge of all is a deeper understanding of the cause of cosmic acceleration...” (Frieman et al. 2008).

estamos cuestionando aquellas **suposiciones** que predicán el haber agotado de manera exhaustiva -en sus argumentaciones-, a **“todos los posibles e imaginables”** escenarios en que se interrelacionan las entidades físicas.

Por estas razones, tengo la impresión de que es el momento en que se hace necesario proponer y defender un escenario, que podría dejar una puerta abierta a la emergencia ontológica de propiedades: *“la ontología de procesos”*.

Quisiera dar inicio con mi argumento volviendo a lo que mencionábamos en páginas anteriores, acerca de que aún existen ciertas lagunas en el conocimiento de lo que constituye a lo más básico de lo vivo.

Sostengo que dichos vacíos no pueden ser subsanados desde interpretaciones que se basan en una percepción de lo biológico como dependiendo exclusivamente de entidades moleculares con capacidad de réplica (que usualmente se asocia con la *“información genética”*), con capacidad catalítica (que usualmente se asocia con un cierto *“metabolismo”*), y/o una capacidad darwinina de evolución (vemos el persistente uso de estos sustratos conceptuales en trabajos recientes: Ricardo & Szostak 2009; Szostak 2009).

Pues básicamente, considero que todavía dichas investigaciones se encuentran inmersas en una concepción atomista y reduccionista que embebe tanto el diseño y preparación, como también, la interpretación de los resultados experimentales. Veamos las siguientes tres citas:

“...Para entender la emergencia de la evolución darwiniana, es necesario identificar los mecanismos físicos que permitieron a las células primitivas competir unas con otras...Nos preguntamos qué ventaja selectiva podría haber impulsado la transición de las membranas primitivas a las modernas, especialmente, durante las primeras etapas que estuvieron caracterizadas por bajos niveles de fosfolípidos de membrana. Aquí demostramos que, sorprendentemente, los niveles bajos de fosfolípidos pueden impulsar el crecimiento de la membrana protocelular durante la competición por lípidos de una sola cadena...”<sup>16</sup>.

“...Proponemos diferentes maneras en que los ácidos nucleicos funcionales con columna vertebral heterogéneos [ácidos nucleicos mosaico (MNA)]...podrían evolucionar a través de repetidos ciclos de reproducción y selección ... Llegamos a la conclusión de que, lejos de representar un callejón

---

<sup>16</sup> “...To understand the emergence of Darwinian evolution, it is necessary to identify physical mechanisms that enabled primitive cells to compete with one another... We asked what selective advantage could have driven the transition from primitive to modern membranes, especially during early stages characterized by low levels of membrane phospholipid. Here we demonstrate that surprisingly low levels of phospholipids can drive protocell membrane growth during competition for single-chain lipids...” (Budin & Szostak 2001, pp. 5249).



sin salida evolutivo, los MNA podrían haber proporcionado una valiosa fuente de funcionalidad hereditaria para los primeros organismos ...las secuencias de los MNA, por lo tanto, pueden lograr un equilibrio ventajoso, proporcionando actividad funcional, además de servir como plantillas mejoradas para la replicación ... lo que permite que múltiples funciones sean codificadas por la misma información genética ...”<sup>17</sup>.

“...Entender el origen de la vida celular en la Tierra requiere el descubrimiento de vías plausibles para la transición de la compleja química prebiótica hacia la biología simple...la emergencia de ensamblajes químicos capaces de evolucionar darwinianamente. Hemos propuesto que una simple célula primitiva, o protocélula, estaría formada por dos componentes principales: una membrana protocelular...y un polímero informacional que permite la replicación y la herencia de la información funcional...la integración

---

<sup>17</sup> “...We suggest several different ways in which functional nucleic acids with heterogeneous backbones [mosaic nucleic acids (MNA)]...could evolve through repeated cycles of replication and selection...We conclude that, far from representing an evolutionary dead-end, MNA could have provided a valuable source of heritable functionality for early organisms...MNA sequences may therefore strike an advantageous balance by providing functional activity as well as serving as enhanced templates for replication...thus allowing multiple functions to be coded by the same genetic information...” (Trevino et al. 2001, pp. 2-5).

de un compartimiento dinámico de ácidos grasos con una robusta y generalizada replicación del polímero genético, daría lugar a un modelo de laboratorio de una protocélula con el potencial para una evolución biológica darwiniana clásica...”<sup>18</sup>.

Aún cuando se observe en las citas anteriores el uso de una terminología de “lo emergente” y “lo complejo”, podemos apreciar que solamente aparecen dichos términos como sustitutos o sinónimos de términos como ‘aparición’ y ‘complicado’ o ‘embrollado’. A parte de ello, la misma base conceptual centrada en las macromoléculas (ácidos nucleicos, proteínas, ácidos grasos), en conjunción con el mecanismo de selección natural, se presupone en las investigaciones que pretenderían abordar etapas y fenómenos de la era prebiótica.

Así, en la primera cita nos encontramos con la afirmación implícita de que un inicio de la evolución molecular se asocia indisolublemente con escenarios de competitividad y ventaja selectiva (que son claramente constituyentes del marco conceptual darwinista), dando a lugar, con posterioridad, al inicio de una evolución darwiniana.

---

<sup>18</sup> “...Understanding the origin of cellular life on Earth requires the discovery of plausible pathways for the transition from complex prebiotic chemistry to simple biology...emergence of chemical assemblies capable of Darwinian evolution. We have proposed that a simple primitive cell, or protocell, would consist of two key components: a protocell membrane...and an informational polymer that allows for the replication and inheritance of functional information... integration of a dynamic fatty-acid compartment with robust, generalized genetic polymer replication would yield a laboratory model of a protocell with the potential for classical Darwinian biological evolution...” (Schrum et al. 2010).

En la segunda de ellas, vemos también algo similar. Ya que se menciona sin titubeos que moléculas que harían las veces de los ácidos nucleicos actuales (sus posibles ancestros en todo caso), ya poseerían la capacidad de evolucionar mediante repetidos ciclos de reproducción y selección. Se afirma, además, que dichas estructuras moleculares podrían haber brindado una fuente de funcionalidad hereditaria, sin dejar de lado que, al poseer la capacidad de almacenar información hereditaria, varias funciones podrían haber sido codificadas por la misma información genética.

En la tercera cita, el modelo propuesto de protocélula no se distancia de lo que venimos mencionando de las anteriores citas. La existencia del polímero genético como polímero informacional es lo que posibilita la evolución, es decir, hace posible la aparición de la evolución darwiniana.

Tomar como punto de partida la presuposición de una fenoménica que “tendría que” llegar a comportarse darwinistamente, pareciera ser una especie de *petitio principii* que no nos permitiría investigar y descifrar con adecuación la peculiar dinámica molecular que pudo haberse presentado en estas épocas prebióticas. ¿Con estos presupuestos no se estarían viciando, en algún grado, dichos estudios?

A este nivel, nos preguntamos qué podríamos lograr si revisáramos lo acaecido en el planeta tierra, desde una perspectiva de estudio que observara la dinámica y procedencia

de las múltiples e interconectadas redes de procesos de que están compuestos los sistemas vivos.

Imaginemos que podamos trazar una línea divisoria en el origen mismo de la vida. Es razonable suponer, por tanto, que antes de atravesar dicha línea nos encontremos en la era prebiótica, y que al atravesarla estaríamos en frente de las primeras formas simples de sistemas vivos.

Además, es completamente razonable suponer que conforme retrocediéramos en el tiempo, nos encontraríamos con sistemas prebióticos con una organización molecular más simple.

Es decir, dicha simpleza de los componentes moleculares aumentaría más y más, en exactamente la misma medida en que nos fuéramos distanciando de esta supuesta línea divisoria.

Ante semejantes circunstancias, nos parece razonable postular que al retroceder en el tiempo, nos encontraríamos con una mayor simpleza en los componentes moleculares. Ello mismo, nos encaminaría a una visualización de las etapas muy tempranas del mundo prebiótico como compuesto por moléculas pequeñas.

Dicha visualización nos permite una mayor amplitud de posibilidades, pues ya no estamos impulsados a buscar con persistencia en qué tipos moleculares podemos encontrar la instanciación de una propiedad catalítica o una propiedad replicativa con capacidad hereditaria, tal que, pueda ser el “blanco” de una selección natural. Por tanto, este tipo de

razonamientos nos hace caer en la cuenta de que posiblemente existan otras alternativas viables para abordar estas etapas.

En particular, la cita que sigue a continuación propone una de estas alternativas y, casualmente, toma en cuenta aspectos que también me parecen de suma importancia (aspectos que en el capítulo anterior, los he presentado de manera sucinta):

“...El enfoque de moléculas pequeñas para el origen de la vida hace varias peticiones a la naturaleza (un compartimiento, una fuente de energía externa, una reacción directriz acoplada a dicha fuente, una red química que contenga a tal reacción y un mecanismo simple de reproducción). Estos requerimientos son de un carácter general, sin embargo, son inmensamente más probables que las elaboradas vías de múltiples pasos necesarias para formar una molécula que pueda funcionar como un replicador...”<sup>19</sup>

El énfasis que nos revela la anterior cita, recoge el sentir de un polo de investigadores (polo al cual me incluyo), que reclaman un cambio paradigmático en nuestra forma de aproximarnos al origen y evolución de la vida.

---

<sup>19</sup> “...The small-molecule approach to the origin of life makes several demands on nature (a compartment, an external energy supply, a driver reaction coupled to that supply, a chemical network that includes that reaction, and a simple mechanism of reproduction). These requirements are general in nature, however, and are immensely more probable than the elaborate multistep pathways needed to form a molecule that is a replicator...” (Shapiro 2007, pp. 52).

Es de notar, que dentro de este polo de investigadores existen muchas vertientes y diferencias en el énfasis que se le da a uno u otro aspecto que se considera como central de la vida, sin embargo, obtenemos una mayor profundización de cómo lo biológico ha evolucionado en nuestro planeta.

Tal es el caso, por ejemplo, de la famosa definición de la vida brindada en 1992 por la NASA<sup>20</sup>: ""La vida es un sistema químico auto-sostenido que es capaz de experimentar evolución darwiniana". Actualmente, afirman que deben ampliar o reformular una posible definición de la vida por los recientes hallazgos en un lago de California:

"... Reportamos el hallazgo de un microbio extraño, la cepa GFAJ-1, que excepcionalmente puede variar la composición elemental de sus biomoléculas básicas, sustituyendo As por P. Cómo el As se incorpora en la estructura de las biomoléculas no está claro, y los mecanismos por los cuales estas moléculas funcionan son desconocidos..."<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> [http://www.nasa.gov/vision/universe/starsgalaxies/life's\\_working\\_definition.html](http://www.nasa.gov/vision/universe/starsgalaxies/life's_working_definition.html)

<sup>21</sup> "... We report the discovery of an unusual microbe, strain GFAJ-1 that exceptionally can vary the elemental composition of its basic biomolecules by substituting As for P. How As insinuates itself into the structure of biomolecules is unclear, and the mechanisms by which such molecules operate are unknown..." (Wolfe-Simon et al. 2011, pp. 1166).

La vida está compuesta principalmente por carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O), azufre (S) y fósforo (P), además de otros elementos en pequeñas cantidades, metales en su mayoría. Lo realmente sorprendente es que el arsénico (As), considerado como uno de los elementos más tóxicos que existen para la vida, pueda ser utilizado por un sistema vivo en reemplazo del fósforo para sintetizar a biomoléculas muy esenciales -como las proteínas y los ácidos nucleicos-, para sostener su crecimiento.

El significado de estos hallazgos para la teoría evolutiva, y para los marcos conceptuales en que se sustenta la ciencia biológica como un todo, puede ser de gran importancia.

Pero de forma inmediata, es de especial significación para las tesis centrales de mi trabajo, pues considero que son de un gran soporte experimental a una de las consecuencias más trascendentales que se derivan de mi propuesta conceptual de sistema prebiótico: más importante que los componentes y las propiedades que ellos supuestamente instanciarían, **es más fundamental que emerja y se mantenga en el tiempo una cierta clase de entidad dinámica auto-organizativa, compuesta por una especial interacción e interrelación de procesos específicos la cual es, al mismo tiempo, una auto-organización informacional y funcional.**

Así, podemos empezar a sopesar el impacto favorable que se produce en el soporte de nuestras propuestas conceptuales, tanto por el descubrimiento del reemplazo del fosfato por el

arsénico en la composición de las biomoléculas básicas de una cepa (llamada GFAJ-1) de bacterias *Halomonadaceae*, así como, la cita de Shapiro (2007) acerca de que el enfoque de moléculas pequeñas reclamaría varias peticiones a la naturaleza.

Por un lado, al dejar de depender en demasía de ciertas composiciones de especies moleculares nos permite acceder a otro espacio de posibles hipótesis de trabajo, tal es el caso, del enfoque de moléculas pequeñas.

Además, inmerso mi modelo en este enfoque para estudiar los antecedentes del origen de la vida, se me permite poner mayor realce a las especificaciones y a la composición del modelo conceptual que propongo.

Similarmente a las precisiones que hace Shapiro, considero que la naturaleza exige cinco aspectos básicos cuando nos encontramos dentro de un enfoque de moléculas pequeñas: un compartimiento, una fuente de energía, una reacción directriz acoplada a dicha fuente, la existencia de una red química que contenga a tal reacción, y un mecanismo muy simple de reproducción.

En vistas de ello, puedo sostener que mi modelo conceptual se encarga de ahondar en una versión de sistema de mínima complejidad que incide; aún más, en una mayor interdependencia de estos cinco aspectos básicos.

La resultante que se obtiene -a consecuencia de fijar mi atención en la interdependencia de estos cinco aspectos-, es



una propuesta que se centra en las implicancias que se derivan del surgimiento de un sistema dinámico que es producto del acoplamiento y fuerte interconexión de tres clases muy específicas de procesos.

A guión seguido, puedo postular que un incremento en la interconexión e interdependencia entre este tipo especial de procesos, es lo que estaría a la base de las condiciones físicas, químicas y fisicoquímicas que le brindarán ciertos niveles de robustez a mi modelo de protocélula.

En efecto, en mi modelo, la fuente de energía no es externa, todo lo contrario, es una fuente interna al sistema. Y esto provoca que nuestro sistema dinámico informacional, tenga una tendencia a permanecer en los estados de no-equilibrio por razones intrínsecas al sistema mismo.

De este modo, también se convierte en la reacción directriz pues conduce al sistema de manera sostenible hacia los estados alejados del equilibrio termodinámico.

En otras palabras, permanecer en los estados alejados del equilibrio termodinámico es la característica que define de manera central al sistema. Y al mismo tiempo, es la razón principal que hace del sistema dinámico informacional un sistema que exista con esas características especiales y novedosas.

A tal punto, que podrán ser las causas de la aparición muy posterior de las primeras formas de vida en nuestro universo.

Dicha condición esencial del sistema dinámico informacional no es dictada por nada externo a él, todo lo contrario, se consigue por la acción de un proceso interno, que es el que provoca la permanencia en los estados de no equilibrio termodinámico.

Más exactamente, el proceso que conecta una reacción endergónica con una reacción exergónica (acopladas ambas a la “moneda energética ancestral”), es para nuestro modelo conceptual, el proceso directriz que tanto se reclama en los escritos de Shapiro.

Lo que es más, éste proceso directriz -que también es el proceso que provee de energía al sistema-, se encuentra fuertemente acoplado a la membrana que compartamentaliza al sistema. Y dicho acoplamiento se produce por medio de la “moneda energética ancestral”, pues ambos procesos la utilizarán (aunque para fines distintos). Y sin duda, está formando parte de la red de reacciones químicas que constituyen al sistema como un todo.

Con estas puntualizaciones a mi propuesta conceptual, me parece que es el momento de retomar la argumentación sobre la posibilidad de una emergencia ontológica.

Volviendo así a mi defensa de una ontología de procesos, creo que es importante precisar a qué me estoy refiriendo. En primer lugar, podemos decir que un proceso molecular es una colección de eventos moleculares, que tiene tanto un inicio como un final bien definidos.

En segundo lugar, hablar de una filosofía de los procesos, nos remite de una forma clara a una 'ontología del devenir'. Es decir, que metafísicamente se sostiene que lo cambiante y lo dinámico son componentes fundamentales de lo real (Whitehead 1929; Prigogine 1980).

Así, en vez de continuar considerando que tanto el cambio, como lo dinámico que observamos por doquier no son rasgos esenciales de lo real, sino que son sólo meros accidentes a supuestos sustratos o sustancias inmutables.

Contrariamente a ello, una ontología de procesos afirma que los reportes y hallazgos que provienen tanto de la física, la química, la biología, como de las demás ciencias, nos impelen a una revisión profunda de conceptos tales como determinación, mecanismo, entre otros (Alexander 1920; Collier & Muller 1998; Silberstein 1998; Rueger 2000; Francescotti 2007).

Me parece importante dejar muy claro, que mi aproximación a una defensa de la emergencia ontológica, -que se funda en una ontología de procesos-, se encuentra muy circunscrita a lo biótico y lo prebiótico.

Por ello, solamente elaboraré mi argumentación de cara a la construcción de una defensa de la siguiente afirmación:

- **Sostengo que los sistemas prebióticos -y por ende, la vida misma-, contienen ejemplos concretos de emergencia ontológica de propiedades.**

Por cierto, realizar una defensa filosófica acerca de la existencia de propiedades que son ontológicamente emergentes, no es una tarea nada simple. Pues para empezar, ello supone que tenga que lidiar con las argumentaciones que se han esgrimido para defender un fisicalismo ontológico, por pensadores de la talla de Jaegwon Kim.

Así, puedo ahora presentar un esquema de los reclamos que se vierten dentro de este tipo de postura fisicalista, y que había adelantado en las primeras páginas de este parágrafo que lo haría, a modo de contrastación con mis propuestas.

En el primer capítulo de su libro "Physicalism, or Something Near Enough", Kim sostiene en contra del poder causal de los fenómenos mentales (y dicho reparo también sería aplicable a las otras ciencias "especiales"), lo siguiente:

"...Cómo es posible...para lo mental el de tener poderes causales, la facultad de influir en el curso de los acontecimientos naturales. Una serie de principios... conspiran para causar problemas a la causalidad mental. El primero de ellos, es el principio de que el mundo físico constituye un dominio causalmente cerrado...*Si un evento físico tiene una causa en t, entonces, tiene una causa física en t*...De acuerdo con este principio, la física es causal y explicativamente autosuficiente: no hay necesidad de ir fuera del ámbito físico para

encontrar una causa, o una explicación causal, de un evento físico...Téngase en cuenta, que ni el dominio mental ni el dominio biológico son causalmente cerrados, hay fenómenos mentales y biológicos cuyas causas no son ellas mismas eventos mentales o biológicos...Por otra parte, el cierre de causalidad física no excluye de por sí causas, o explicaciones causales, no físicas de los fenómenos físicos...Sin embargo, tales causas y explicaciones se pueden descartar cuando...se adopta (el) *Principio de exclusión causal*...(pues) **es un principio metafísico general**...*Si la ocurrencia de un evento E, o una instancia de una propiedad P, se determina / se genera por un evento C -causalmente o de otro tipo-, entonces, la ocurrencia de E no está determinada / generada por cualquier evento completamente distinto o independiente de C -a menos que sea un caso genuino de sobre-determinación-...*"<sup>22</sup> (El subrayado y énfasis es nuestro).

---

<sup>22</sup> "...how it is possible...for mentality to have causal powers, powers to influence the course of natural events. Several principles...conspire to make trouble for mental causation. The first of these is the principle that the physical world constitutes a causally closed domain... If a physical event has a cause at t, then it has a physical cause at t...According to this principle, physics is causally and explanatorily self-sufficient: there is no need to go outside the physical domain to find a cause, or a causal explanation, of a physical event...Notice that neither the mental nor the biological domain is causally closed; there are mental and biological events whose causes are not themselves mental or biological events... Moreover, physical causal closure does not by itself exclude nonphysical causes, or causal explanations, of physical events...however, such causes and explanations could be ruled out when...is adopted (the)...Principle of causal exclusion...(because) is a general metaphysical

Como parte de mi argumentación, dirijo la atención al momento en que citábamos a Van Gulick (2001), en lo que se refiere a los dos principios básicos del fisicalismo atomista.

Mencionábamos que la emergencia de tipo radical (ontológica) era posible solamente si alguno de sus dos principios no era válido. Y es precisamente debido al enfoque de la ontología de procesos que definiendo, lo que me permite negar de manera definitiva al AP2 (al principio básico #2 del fisicalismo atomista).

Aún cuando Kim no lo mencione explícitamente, resulta importante dejar en claro que su defensa del fisicalismo la hace en base (como muchos otros pensadores), a un marco conceptual que tiene como fundamento a esa metafísica atomista que puntualiza Van Gulick.

Si para una aproximación de este tipo, el hecho de negar al fisicalismo conlleva, automáticamente, la acusación de haber aceptado veladamente un dualismo de sustancias, para la aproximación que definiendo ello no es en absoluto cierto.

Efectivamente, nuestra defensa de la emergencia ontológica se desarrolla en regiones que están muy alejadas del marco de referencia cartesiano, cosa que no creo poder afirmar de los pensadores que defienden a ultranza dicho fisicalismo. Para un

---

principle...If the occurrence of an event *e*, or an instantiation of a property *P*, is determined/ generated by an event *c*—causally or otherwise—then *e*'s occurrence is not determined/generated by any event wholly distinct from or independent of *c*—unless this is a genuine case of overdetermination...“(Kim 2005, pp. 15-17).

mayor desarrollo de estos vínculos –entre cartesianismo y el fisicalismo atomista -, ver (Campbell & Bickhard 2011).

En la cita anterior de Kim, se aborda la clausura causal de lo físico para excluir los poderes causales de lo mental (y, de paso, a todos aquellos fenómenos que no son del dominio físico, como el dominio biológico).

Sin embargo, podemos observar que su postura se enmarca en una ontología fisicalista de partículas o atomista. Y, al igual que Lewis (1986), que equipara a las propiedades físicas del mundo con los puntos de una imagen de matriz de puntos, la causalidad física en Kim es cerrada, pues lo único que hay en lo más microscópico del mundo físico son partículas elementales en interacción causal unas con otras.

Así, las propiedades emergentes de todo patrón global (esto es, un fenómeno en una ciencia especial) no son causalmente relevantes debido a que pueden reducirse, en última instancia, al accionar causal de aquellas partículas elementales involucradas en dicho patrón global.

Al ser estas propiedades emergentes causalmente irrelevantes son, de este modo, epifenoménicas.

No obstante, tengo que destacar la existencia de un presupuesto que es sumamente central para toda su argumentación.

El hecho es que supone la existencia de un nivel microscópico constituido por micro-componentes, que resulta ser el fundamento último de lo real. Dicha micro-escala es la

privilegiada, pues en ella reposan tanto las fuerzas causales, como la capacidad de determinar absolutamente toda la fenoménica que se encuentra por encima de ella.

Pero pongamos únicamente un ejemplo a modo de cuestionamiento (¿refutación?) de todo el edificio conceptual que se cimenta en esta supuesta privilegiada micro-escala: la superconductividad -que es un fenómeno esencialmente cuántico-, se conoce desde 1911.

Como uno de los efectos de este fenómeno, existe el llamado Efecto Meisner (descubierto por Walter Meissner y Robert Ochsenfeld en 1933), que consiste en la desaparición total del flujo del campo magnético en el interior de un material superconductor por debajo de su temperatura crítica.

Resulta que el Efecto Meisner, es un fenómeno cuántico que se produce a nivel macroscópico y, por tanto, me parece que carece de sentido preguntar por cuál sería el conjunto de relaciones y acciones causales entre el grupo de supuestos micro-componentes -de esa micro-escala privilegiada-, responsables de dicha fenoménica (Hirsch 2008).

Cuando tratamos de basarnos en la física para fundamentar nuestros argumentos filosóficos, lo aconsejable es adoptar una estrategia de actualización (un tentar ponernos al día) y hacer así uso de los conocimientos de la física de, al menos, mediados del siglo XX.



Por ello, tengo que decir que la física actual entiende el accionar causal en términos muy distintos a los que se despliegan en los argumentos de Kim.

Para empezar, ya a principios del siglo XX la teoría relativista y la mecánica cuántica planteaban serias revisiones a los marcos teóricos de una física basada en esquemas newtonianos. En primer lugar, la relatividad modificaba de forma radical las ideas que teníamos del espacio y del tiempo, además, una de sus consecuencias centrales fue encontrar que la masa era una forma de energía.

Y a su momento, la mecánica cuántica disolvía irremisiblemente la división que había en la física clásica de, en un primer lugar, a las partículas con sus propiedades posición, velocidad, momento angular, etc. Y en un segundo, a las ondas que se caracterizaban por su frecuencia, longitud de onda, velocidad de propagación, entre otras.

Pero se necesitó la llegada de los años veinte, para que a partir de allí se empezara a desarrollar una teoría que las tentara unificar: la Teoría Cuántica de Campos. Esta teoría, en sus varias versiones, es ampliamente considerada hoy en día como la teoría más fundamental de la física.

Incluso, en algunas de sus aplicaciones ampliamente conocidas, ha alcanzado una gran corroboración y exactitud nunca antes vista en la historia de la física (Brown & Harré 1988).

Ciertamente, la teoría cuántica de campos no se encuentra exenta de vacíos y puntos de vista encontrados. Sin embargo, resultan indudables sus posibles aportes para una seria revisión de los más básicos fundamentos de que se sirven las reflexiones filosóficas sobre la ciencia.

Además, dicha teoría logra combinar adecuadamente las reglas de la mecánica cuántica con las de la relatividad especial, es decir, se consigue una mecánica cuántica relativista. Por ello, logra resolver el impase debido a la conservación de la probabilidad de la mecánica cuántica. Dicha dificultad se produce, ya que en la mecánica cuántica una partícula viene descrita por una función de onda que nos proporciona la distribución de probabilidad de encontrar esa partícula en algún lugar (en donde la probabilidad de encontrar la partícula en todo el espacio es uno) y con la relatividad, la energía puede materializarse en masa y viceversa y, con ello, estamos permitiendo que en un cierto proceso aparezcan o se destruyan partículas.

Si, por el contrario, cambiamos la interpretación probabilista de la mecánica cuántica, y se asume que un campo toma un valor en cada punto del espacio y en cada instante de tiempo, entonces, un determinado campo tomará un valor en todo punto del espacio simultáneamente.

Lo que es más, el hecho de reinterpretar la función de onda como un campo cuántico es, al mismo tiempo, interpretar a las

partículas como las perturbaciones o excitaciones de dicho campo (Weinberg 1997).

Me parece importante resaltar, que se ha propuesto que la mejor manera de entender los fundamentos ontológicos de la Teoría Cuántica de Campos no se encontraría tanto en la visualización de entidades específicas (como partículas o corpúsculos).

Más bien, se revelaría en su propia estructura que, de por sí, está muy íntimamente relacionada con los procesos que describe (Gao 1997; 1999).

Esta última acotación nos es de especial importancia, pues hablar de una ontología basada en estructuras que al interior suyo contienen procesos, nos remite a centrar nuestra atención (como fundamento ontológico), en los tipos de organización que esgrimen dinamismo en el tiempo.

Por ende, estamos refiriéndonos a configuraciones de constituyentes, así como también, a los cambios en las relaciones de esas mismas configuraciones.

Además, dichas configuraciones serían portadoras de ciertas propiedades (que serían propiedades relacionales), y que tendrían la capacidad de ejercer algunas acciones causales en determinados contextos.

En este momento, es importante poner de relieve lo que actualmente se viene descubriendo lo relacionado a los fenómenos cuánticos como el efecto túnel cuántico y el entrelazamiento cuántico (una forma de coherencia), y la

creciente convicción de que estarían a la base de fenómenos muy extendidos en los sistemas vivos.

Nos referimos, al descubrimiento de la existencia de procesos cuánticos en la fotosíntesis (Engel et al. 2007; Cheng & Fleming 2009; Collini et al. 2010).

Asimismo, existirían efectos cuánticos asociados a la detección del campo magnético terrestre por las aves, por algunos insectos e, incluso, en respuestas fisiológicas de ciertas plantas (Ritz et al. 2004; Ahmad et al. 2007; Gauger et al. 2011).

Es importante señalar que hasta hace no mucho tiempo, los investigadores en física se imaginaban que los comportamientos cuánticos sólo se podían observar a nano-escalas, en condiciones muy controladas de laboratorio, y a muy bajas temperaturas.

Sin embargo, como resultado de los hallazgos que acabamos de mencionar, se genera una creciente búsqueda por entender cómo en el mundo natural se aprovecha y se utiliza de manera tan eficiente a los fenómenos cuánticos.

Fenómenos estos que ocurren a escala macroscópica, que se producen a temperatura ambiental, y en condiciones que se alejan grandemente de las condiciones controladas de laboratorio.

Una de las posibles explicaciones por cómo los sistemas vivos manejan tan eficientemente el mundo cuántico -y así evitan la decoherencia-, se encontraría en la manera en cómo los sistemas vivos han logrado desarrollar una muy especial

organización de sus estructuras y procesos moleculares (Henbest et al. 2008; Maeda et al. 2008).

De lo presentado hasta el momento, me parece que estos resultados y hallazgos científicos nos permitirían obtener algunos elementos de juicio para señalar qué posturas filosóficas no serían compatibles con aspectos de la imagen del universo que se deduce, precisamente, de dichos conocimientos científicos (Dowell 2006).

Además, aún cuando a partir de estos mismos conocimientos no es posible desarrollar una ontología de la realidad, al menos, sí nos permitiría tener a estos conocimientos científicos como si fueran un marco de comparación y sustento con el que se podría observar la viabilidad o no de las distintas propuestas ontológicas del mundo –pues aquellas propuestas que serían viables no las contradecirían o no serían incompatibles con estos productos últimos de la investigación científica-.

Es en este marco, en el que tentaré ahora dedicarme a desarrollar la defensa de una ontología de la emergencia (Wilson 2010).

Entonces, paso seguidamente a proponer que es racionalmente posible sustentar un “**Fisicalismo de Procesos**” (**PP**, por sus iniciales en inglés) que, ciertamente, parecería ser consistente con la concepción actual de qué es lo físico.

Y de manera central, permite que naturalmente se produzca la emergencia en sentido ontológico.

Así, me encamino hacia una propuesta que incluirá tanto a la emergencia, como al fisicalismo, sin por ello, caer en contradicciones, o, en consideraciones que las presentan como nociones irremediabilmente antagónicas.

Mi propuesta de un **Fisicalismo de Procesos**, considera que no es posible referirnos a un nivel micro-físico, el que a su vez estuviera constituido por micro-partes inmutables, invariables en esencia, y que fueran portadoras de aquellas características fundamentales que determinarían de una vez y para siempre las características de los elementos del nivel macro.

A semejanza de la forma en que Van Gulick presentaba los aspectos básicos del fisicalismo atomista, propongo -de manera inicial y tentativamente-, los siguientes aspectos básicos de lo que denomino un fisicalismo de procesos (PP -en inglés-):

- **PP1.-** Las características de los elementos del nivel macro serían determinadas por las características que poseerían sus micro-partes al interactuar unas con otras y en determinadas condiciones. Es decir, **el orden** en que se producen las interacciones, resulta de importancia crucial para la aparición de una determinada característica en el nivel macro.
- **PP2.-** Las regularidades necesarias para la determinación de las características macro son contexto-dependientes, por tanto, siempre es posible observar la aparición de una nueva característica o propiedad en el nivel macro, debido a la generación de un patrón novedoso, producto de un nuevo conjunto de interacciones no producido con anterioridad.

A continuación, nos dedicaremos a explorar cuáles pueden ser las consecuencias iniciales que se deslindan de estos dos aspectos básicos del fisicalismo de procesos.

Pondremos especial énfasis en mostrar cómo interactúa de manera congruente la vertiente fisicalista (“qué es lo físico”), con la vertiente emergente (“el todo es más que la suma de sus partes”).

Esto último nos alerta que los nuevos niveles y fenómenos de lo real, no serán consecuencia única y exclusiva de las propiedades y características de sus microcomponentes tomados aisladamente o en cualquier forma de combinación.

Lo que acabamos de decir, es en realidad una forma de acceder a nuestra propuesta. Aún cuando no parezca nada significativo -a primera vista-, creo que es necesario repasar lo dicho para poner de relevancia lo central de mi propuesta.

En primer lugar, el fisicalismo de procesos nos dice que los aspectos más primarios o más “micro” de la realidad son físicos, y esto, es un aspecto básico de lo real.

Hasta aquí, estamos en total concordancia con el fisicalismo atomista.

Sin embargo, una diferencia sustantiva se produce a partir de **mi defensa de un principio metafísico general** que visualiza a algo como **causal**, tanto en virtud de sus condiciones necesarias, como en virtud de sus condiciones suficientes.

Sin lugar a dudas, nada en nuestro universo puede suceder o puede ser causado, si no se encuentran presentes los

componentes más básicos de lo físico, ya que forman parte de lo más importante (diríamos lo central o sustantivo) de las condiciones necesarias de *“aquello que causa”*.

El tema que quiero resaltar, es que para mi propuesta de un fisicalismo de procesos, aquí no termina todo lo que cuenta como *lo causal en la realidad*.

Se tienen que determinar y explicitar, aquellas condiciones suficientes -que conjuntamente con las anteriores-, son parte también de “aquello que causa” a prácticamente la mayoría de los fenómenos que conforman a nuestro universo dinámico.

Y es que la aceptación de un universo dinámico, no solamente involucra aceptar que “la causa de algo” sería aquello que afecta el cambio de las velocidades (y/o los niveles energéticos) de sus componentes visualizados como sustancias inmutables (que también poseerían, en sí mismos, propiedades que serían intrínsecas e inmutables).

Cuando ampliamos la noción de lo dinámico, comprendemos que podrían existir cambios en los comportamientos de lo físicamente fundamental.

Y esto se debería, primariamente, a las condiciones en que podrían interactuar unos con otros, y con sus alrededores en el tiempo. En consecuencia, abrimos una puerta del pensar.

Nos ponemos entonces a pensar, que posiblemente existirían propiedades que no siempre se harían “visibles” o “detectables” en cualesquiera condiciones se preparara un experimento o una medición (pues no se tiene “in mente” que el contexto sería una



componente muy importante a tomar en cuenta en la investigación).

Así, el cambio, lo dinámico y el contexto, nos permite poner de realce la importancia del orden de interrelación de los procesos en el tiempo en que los sucesos se producen.

Por ejemplo, para la aparición de una cierta fenoménica del universo no resulta inofensivo el que primero se produzca el proceso **A**, después el proceso **B**, a continuación el proceso **C**, y así sucesivamente siguiendo el orden de nuestro abecedario.

Pues quizá algo muy distinto se produciría si es que el proceso **A** se conectara con el proceso **C**, el que a su vez, se conectaría con el proceso **H**.

Y que ello, en realidad, daría a lugar a los albores de una nueva clase de fenómenos, y que llegado el momento se comportarían como las condiciones suficientes de la(s) causa(s) que habrían hecho posible la aparición de otra fenoménica.

Tal que esta última clase de fenómenos jamás habría podido haber aparecido en el universo, si es que esa primera interrelación de procesos fuera el caso que nunca se hubiera llegado a producir.

Por tanto, sostengo que una primera implicancia de este fisicalismo de procesos, es que los fenómenos de una cierta clase (que contienen en su interior, un conjunto determinado de procesos) son causas de otra clase de fenómenos (los que a su vez, también tendrán otro conjunto de procesos).

Lo que me interesa poner de manifiesto, es que tanto el primer conjunto de procesos, como el segundo conjunto de procesos, poseerían propiedades que los distinguen.

Es decir, las propiedades estarían ontológicamente vinculadas a los procesos (que llevados estos hasta su más micro-descripción, nos encontraríamos que están compuestos por componentes físicos en interacción).

Sostengo que es a partir de la interacción e interrelación entre los procesos, que podemos observar la emergencia de propiedades cuya naturaleza es de tipo relacional.

Son las propiedades relacionales, las que emergen de una clase específica de interacción entre ciertos tipos procesos.

Es decir, no cualquier clase de proceso, interactuando con cualquiera otro(s) proceso(s), enfrentados a cualquier tipo de interacción(es), generará una misma clase de propiedad relacional.

Por tanto, aún cuando nos veamos, en última instancia, ante un cierto grupo de interacciones de micro-componentes físicos como siendo la causa de cierto(s) estado(s) físico(s), nos hace falta observar el comportamiento del conjunto total de procesos que engloba esa dinámica de estados físicos.

Pues -por poner un ejemplo muy cotidiano-, la observación del comportamiento global de un conjunto de moléculas de agua, nos indicaría que ya es hora de retirar de la hornilla a la tetera, debido a que el agua ya está hirviendo.

Dicho de otra manera, en un universo dinámico los procesos y sus fenoménicas, siempre contemplan un entorno, un contexto.

Los procesos moleculares en interacción podrán, de este modo, dirigirse hacia ciertas dinámicas de interacción más probablemente que a otras formas de interacción.

Es decir, se vería que ciertas dinámicas de interacción restringirán sus grados de libertad, respecto a las dinámicas de esos mismos procesos moleculares tomados aisladamente.

Esta restricción en los grados de libertad de los procesos en ciertos tipos de interacción, podría conllevar a la generación de “*constricciones*” en el comportamiento global del grupo de procesos en interacción.

Y este sería un paso fundamental en la historia de los estados de esos procesos. Pues fundamentalmente, se encontrarían envueltos en ciertos tipos de interacción, más probablemente que en otros tipos factibles de interacción.

Emergería un espacio de interacciones, y un conjunto de propiedades relacionales, que no serían posibles de acceder por algún otro tipo de interacción entre otros procesos moleculares.

Pues se podría observar la emergencia de nuevas propiedades relacionales que serían las que conducirían – causarían-, las maneras y posibilidades de interacción entre los procesos entre sí, y en frente de su entorno que es cambiante.

En otras palabras, toda esta secuencia de fenómenos podría llegar a constituir el conjunto de condiciones de contorno, y de

causas suficientes, para la aparición en el universo de una nueva clase de fenómenos que tendría su propia dinámica, sus propios fenómenos y sus propias acciones.

Para finalizar el presente subcapítulo, propongo estudiar brevemente el caso del agua y el del aroma, los cuales me permitirán ejemplificar los nexos que se producen entre los aspectos físicos, las propiedades relacionales y la emergencia.

Cuando empezamos un breve estudio del  $\text{H}_2\text{O}$ , pronto nos enteramos de que esta combinación de tres pequeños núcleos y diez electrones presenta propiedades tan especiales que lo hacen único entre los más de 15 millones de especies químicas que actualmente conocemos, ¿porqué? (Ball 2008).

De partida, nos encontramos con que sus propiedades físico-químicas son bastante diferentes a los de compuestos químicamente similares, tales como  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{Te}$ ,  $\text{H}_2\text{Se}$ .

Los valores del punto de fusión y de ebullición son bastante mayores de lo que cabría esperar, además, encontramos diferencias significativas en la capacidad calorífica, la tensión superficial, la constante dieléctrica.

Una variedad de técnicas, incluyendo la espectroscopía de absorción de infrarrojo, la dispersión de neutrones, y la resonancia magnética nuclear se han utilizado para estudiar la estructura microscópica del agua (Bakker & Nienhuys 2002; Bernath 2002; Maksyutenko et al. 2006).

La información obtenida de estos experimentos y de cálculos teóricos ha llevado al desarrollo de una veintena de "modelos"

que tratan de explicar la estructura y el comportamiento del agua. Más recientemente, las simulaciones por ordenador de varias clases se han empleado para explorar hasta qué punto esos modelos son capaces de predecir las propiedades físicas del agua observadas (Khan et al. 2001; Guillot 2002; Head-Gordon & Hura 2002; Tokmakoff 2007).

Las interacciones y propiedades intrínsecas de los dos átomos de hidrógeno y el átomo de oxígeno, que constituyen a una molécula de agua, no bastan para poder explicar el conjunto de propiedades físicas que se observan.

Pues cada vez es más claro entre los investigadores, que el tiempo y la cantidad de moléculas de agua en interacción son variables a tomar en cuenta. Al igual que, sigue sorprendiendo su misterioso comportamiento cuando interactúa con moléculas de mayor tamaño, como las proteínas (Stanley et al. 2007).

Se sugiere que el cambio en las propiedades de hidratación del agua es el responsable del cambio en las dinámicas del ADN, de las proteínas y otras biomoléculas (Chen et al. 2007).

Similarmente, el aroma de una flor, de la madera, de una fruta, de un pastel en el horno es una propiedad que depende de una interrelación muy elaborada.

El tejido sensorial, denominado epitelio olfativo, es una membrana mucosa que tapiza la parte superior de la cavidad nasal. Los olores llegan a esta zona con el aire que respiramos, y las moléculas se disuelven en la mucosa y se unen a receptores olfativos situados en la membrana plasmática de las

células sensoriales. Las células envían impulsos nerviosos a nuestro cerebro el cual aprende a asociar los olores con su origen.

¿Pero cómo hace el olfato para distinguir entre grupos funcionales, tamaño y forma general de las moléculas? En muchos procesos fisiológicos que tienen lugar en la membrana celular, los receptores se activan cuando un ligando se une a su dominio extracelular. El olfato dispone de toda una batería de células sensoriales. Un solo tipo de molécula fragante puede interactuar con más de un tipo de receptor, así que la sensación global se debería a la acción de varios receptores activados (Malnic et al. 2004).

Sin embargo, el panorama sería aún más complejo. Los mecanismos físicos de la detección no están del todo claros. El mecanismo de reconocimiento de los receptores de la nariz no sólo involucraría a la forma y el tamaño de las moléculas de olor. Recientemente, se ha encontrado que otros tipos de procesos estarían involucrados en la experiencia del olor.

Una propuesta novedosa sugiere un efecto de “tunelado inelástico de electrones” desde un donante a un receptor, que mediaría para que el olor accionara a un receptor, y generaría así una acción de discriminación crítica (Brookes. et al. 2007).

Como podemos apreciar, la interacción entre determinados componentes moleculares, envueltos en determinado tipo de procesos, estaría a la base de, ocasionaría, la emergencia de nuevas propiedades que serían de tipo relacional.

### **2.3.2 Signos, Información y Procesos en Biología**

Tomando lo anterior en consideración, nuestra idea rectora será, por tanto, que la existencia natural se entiende mejor como 'procesos' en vez de 'cosas'. Que el tiempo y el cambio, se encuentran entre las más fundamentales de las características que tiene nuestra realidad física.

En consecuencia, no aceptamos la existencia de cuestiones tales como "los signos son cosas"; ni tampoco, la existencia de los signos en sí mismos.

Si existen los signos en la realidad, ellos tendrán mucho que ver con la existencia de ciertos procesos. Estos procesos, estarán conectados a partir de ciertas relaciones naturales, que se han desarrollado en el interior de ciertas interacciones dinámicas espaciales y temporales. Tenemos que hacer notar, que nuestra propuesta es muy similar a aquella que desarrolló Pierce (1868), en su momento.

En el caso de nuestra propuesta, las relaciones a las que nos estamos refiriendo son aquellas que se dan entre los sistemas vivientes y sus medio ambientes, y aquellas que se establecen en el interior de estos sistemas.

Nuestro universo es dinámico y se encuentra en continuo desarrollo, con cambios en las relaciones de sus componentes energético-materiales a lo largo del tiempo. La emergencia de nuevas estructuras, relaciones, propiedades y fenómenos se encuentra regulada por la naturaleza dinámica de nuestro

universo: la realidad misma contiene en su interior las semillas de lo novedoso.

En el mundo físico, ciertas variaciones energético-materiales, por ejemplo, las fluctuaciones electromagnéticas, no transmiten ninguna clase de signos para, digamos, una roca.

Sin embargo, las mismas fluctuaciones electromagnéticas producen algunas respuestas en los sistemas vivos –ellas transmiten algunos tipos de signos-, y son los portadores de algún tipo potencial de información para estos sistemas. La pregunta fundamental es, ¿por qué?

En consecuencia, parecería apropiado -en el marco de una aproximación naturalista-, conectar a las variaciones energético-materiales con la posible emergencia de los signos.

Si un signo no es una cosa, más bien, es el producto de ciertas relaciones. Entonces, su naturaleza dependerá de la clase de esta relación. Dicho de otra manera, los signos se formarán –emergerán-, cuando ciertas relaciones se den a lugar.

La clase de procesos que aparece en la biología, contiene una característica fundamental: es una red jerarquizada de procesos moleculares muy conectada y extremadamente interdependiente.

Propongo, de esta manera, que la emergencia de los signos estaría fuertemente enlazada con la posible emergencia de una clase de fenómeno que contiene -en el interior de su propia naturaleza-, una red de procesos moleculares altamente



interconectada e interdependiente (formada -principalmente-, de compuestos químicos).

Además, quiero afirmar lo siguiente: los signos, las señales y los códigos pertenecen, de manera fundamental, al reino de lo viviente (y no como mayoritariamente se afirma, que pertenezcan exclusivamente al mundo de lo humano).

En el caso de la información, propongo lo siguiente: la información emerge en el mundo de lo biológico como 'información con significado'. Precisándolo más, emerge como información con significación biológica, o, '**bio-significado**'.

Como los signos, la información es igualmente una noción relacional. De esta manera, también dependerá de los procesos, de los procesos biológicos. La información siempre será **información llena de significado para** los sistemas biológicos.

Mi línea de razonamiento, se deriva del hecho concreto siguiente: sea cualquier clase de variación energético-material que incida sobre los sistemas biológicos, ella se convertirá en signo (se volverá una 'información potencial' para el sistema), sólo en aquellos casos que el sistema biológico tenga las capacidades de reaccionar de acuerdo a ella.

Y esto sucede, cuando la variación energético-material ha producido un impacto en algo en el sistema, y así, es incorporado en el sistema **-como una variación-**, con la capacidad ulterior de volverse parte de algún proceso del sistema.

Si alguna variación energético-material, no se ha incorporado en el sistema biológico en la forma de una variación (cualquier clase de variación), entonces, no es un signo para el sistema. En consecuencia, el sistema no desarrollará ningún tipo de respuesta.

Por ende, puedo afirmar que esta es la forma en que los signos emergen desde la realidad física.

#### **2.4 *La Información Biológica y el Significado***

En estos momentos, considero muy importante relacionar mis ideas con algunos desarrollos recientes en la discusión sobre la información biológica.

Así, para establecer las principales características que presenta mi contribución al debate sobre este tema, me dedicaré brevemente a comparar y contrastar aquello que es similar, y puntualizar las diferencias de mi aporte respecto de otros trabajos (en especial, Maynard Smith 2000; Jablonka 2002; Kauffman et al. 2008).

Antes de continuar, es preciso dejar de la manera más explícita y diferenciada el objeto de estudio en mi propuesta.

Aún cuando yo me encuentre lidiando con ideas, conceptos y argumentos que, a primera vista, parezcan muy similares a los que en las investigaciones citadas se abordan, mis propuestas se encuentran de manera primaria y fundamental centrándose en los sistemas prebióticos.

Contrariamente, los autores a que me refiero construyen sus argumentos e ideas pensando en los sistemas vivientes. Por esta sola razón, algunos argumentos que parezcan probablemente muy similares, no necesariamente tendrán que seguir los mismos caminos.

Para empezar, un importante aspecto en común es expresado en palabras de Jablonka:

“...No hay nada necesario -en un aspecto particular del medio ambiente-, que actúe en calidad de información...”<sup>23</sup>.

En primer lugar, convenimos que los signos y la información biológica son ‘nociones relacionales’. En segundo lugar, sostenemos que es preciso identificar la conexión existente entre la información, la evolución y los sistemas vivos.

Me parece importante señalar que -de manera mayoritaria-, los autores abordarán este segundo punto, utilizando una perspectiva evolutiva darwiniana.

Por ejemplo, en Maynard Smith, la noción de información biológica está fuertemente conectada con la noción de selección natural.

---

<sup>23</sup> “There is nothing necessary in a particular aspect of the environment acting as information” (Jablonka 2002, p. 586).

Así, ha propuesto que la característica más importante de la información biológica es que ha sido “diseñada” por la selección natural y, es en ese sentido, en que podemos afirmar que es “intencional” (Maynard Smith 2000, pp. 189-190).

Podemos notar que esta propuesta, es una noción de información entendida como función biológica que está centrada, exclusivamente, en la noción de información genética.

Para Maynard Smith, la noción de información biológica está íntimamente unida a la idea que el signo que transporta la información y la respuesta a él, son productos ambos de la selección natural.

Más aún, su reclamo por la noción de “diseño” en sus argumentos, permitirá que se haga posible la conexión entre la selección natural, la información y la función –entendida en el sentido de la “función propia” de Millikan-, (Millikan 1984).

A su momento, Jablonka usará también las nociones de “diseño” e “intencionalidad”:

“...Según mi interpretación, se puede decir que A lleva la información para B y acerca del medio ambiente de B, porque B ha sido diseñado para que así pueda interpretar A...una adscripción más general de la “intencionalidad” evolutiva es respecto de los procesos de interpretación, ya que esto se aplica a la transmisión de la información en

general (sobre el medio ambiente y para el receptor)...”<sup>24</sup>.

En sus escritos, Jablonka ha tratado de realizar una ampliación de la noción de información biológica desarrollada por Maynard Smith. En su intento, no sólo no circunscribe ésta noción a la de información genética sino, todo lo contrario, la amplia hasta intentar abordar otras formas de información biológica (por ejemplo, información epigenética).

Para lograrlo, necesita que el sistema que recibe la información –por ejemplo, un sistema viviente-, tenga un “sistema interpretativo”:

“...una fuente se convierte en una información entrante cuando un receptor interpretativo puede reaccionar a la forma de la fuente...de manera funcional...”<sup>25</sup> (Jablonka 2002, p. 602).

Es preciso notar, que la noción de función que usa Eva Jablonka en su trabajo, es muy similar a la que propone Kitcher. La cual, es una teoría no-etiológica de las funciones.

---

<sup>24</sup> “According to my interpretation, A can be said to carry information for B and about the environment of B, because B has been designed to so interpret A...a more general ascription of evolutionary “intentionality” is to the interpretation processes, because this applies to the transmission of information in general (about the environment and for the receiver)” ((Jablonka 2002, p. 588).

<sup>25</sup> “a source becomes an informational input when an interpreting receiver can react to the form of the source...in a functional manner...” (Jablonka 2002, p. 602).

La propuesta de Kitcher, es una defensa de una teoría de las funciones basada en la noción de diseño, acorde con la cual, “the function of *S* is what *S* is designed to do” (Kitcher 1993, p. 380).

Ciertamente, Kitcher usará en sus argumentos a la noción de selección natural como la fuente de la cual surge el diseño, así, la selección natural ha diseñado que *S* realice determinada acción, mecanismo, labor, etc., y esto mismo, es la función de *S* (op. cit., pp. 380-381).

Recientemente, Kauffman y sus co-investigadores han publicado un artículo sobre este tópico. En su escrito, se sostiene que es posible que exista un rol profundo que la información estaría jugando en los sistemas vivientes.

Como parte de la argumentación, se propone que aún siendo muy poderosa la teoría de Shannon (1948), existe el problema que su alcance es muy limitado. En particular, la noción de información de Shannon no puede describir la información contenida en los organismos vivientes.

A partir de aquí, introducen la noción de relatividad de la información, y muestran que el concepto de información depende del contexto de dónde y cómo se está usando.

Finalmente, los autores examinan el nexo que hay entre información y organización, y muestran que en los sistemas bióticos tanto la información como la organización, se encuentran íntimamente relacionados.

Es muy interesante que los autores propongan que la organización es en sí misma información. Y con respecto al significado en los sistemas vivos, ellos proponen que sólo a través de las maneras en que propagan su organización son capaces de interpretar la información.

En consecuencia, la cantidad de información estará relacionada con la diversidad de constricciones, y con la diversidad de procesos que esta diversidad de constricciones puede parcialmente ocasionar su ocurrencia.

Es en estos momentos, en que a la “información biótica” la denomina “información instructiva” (“instructional information”, pues es debido a su función brindando instrucciones, lo que este tipo de información realiza en los organismos vivos).

Comparándola con las interesantes propuestas resumidas en los párrafos anteriores, nuestra aproximación a la noción de información biológica -que también se encuentra inmersa en una perspectiva evolutiva-, no necesita estar relacionada con la ‘noción de diseño’, o, con la ‘noción de intención’, ni tampoco, con algún tipo de ‘subsistema interpretativo’ en el interior del sistema que recibe la información.

Adicionalmente, querría sostener que las razones fundamentales de estas diferencias, se encuentran en la naturaleza de mi aproximación al reino biológico: estoy interesado en las propiedades básicas de la vida y en la manera en que ellas emergieron inicialmente en el mundo físico.

Por tanto, me dedico a reflexionar por las condiciones que permitieron una clase de auto-organización dinámica (que contiene compuestos químicos simples, así como, un conjunto mínimo de procesos) lo suficientemente robusta, como para sugerir que puede ser vista como el ancestro directo de los sistemas biológicos.

Además, es importante mencionar en estos momentos de mi argumentación, que mi propuesta teórica sobre los tiempos prebióticos contiene algunas consecuencias interesantes que iremos desplegando poco a poco.

Cuando reflexionamos sobre el siguiente enunciado:

“...hace 3 mil millones de años, no existían los genes en absoluto...una gran cantidad de evolución debe haber ocurrido entre las fases protocelular y bacteriana de la historia evolutiva...”<sup>26</sup>.

Entonces, uno puede meditar entorno de algunas posibilidades razonables acerca de la gran cantidad de actividad evolutiva en esos tiempos remotos. En especial, sobre la naturaleza de la evolución que se dio a lugar entre la época de los sistemas protocelulares y la aparición de las primeras formas de vida.

Puesto que nuestra búsqueda conceptual, está centrada fundamentalmente sobre los sistemas iniciales que surgieron en

---

<sup>26</sup> “more than 3 billion years ago, there were no genes at all... a lot of evolution must have happened between the protocellular and bacterial phases of evolutionary history” (Szathmáry et al. 2005, pp.169-70).



tiempos prebióticos, nos preguntamos si habría alguna clase de necesidad -algún tipo de ley-, que nos impusiera a la selección natural y que, al mismo tiempo, nos impidiera que visualizáramos otros mecanismos razonables del cambio evolutivo.

De modo tal, que tendríamos que aceptar que, sin lugar a dudas, fue la selección natural la única forma de evolución que pudo haber actuado en los primeros momentos del mundo prebiótico (en realidad, hasta donde alcanza nuestro conocimiento en estos temas, podemos afirmar que no existe ningún tipo de ley con las características que acabamos de señalar).

En este sentido, tenemos que estar concientes sobre el hecho en que hubo una época en donde muy difícilmente -por no decir prácticamente imposible-, podría haber habido algún tipo de moléculas semejantes al ADN, al ARN, o, incluso a las proteínas.

Por tanto, no parecería muy razonable estar afirmando, o, sosteniendo que fue la evolución por selección natural, la forma de evolución que estuvo involucrada en los cambios dinámicos adaptativos de los sistemas que aparecieron en esas tempranas épocas.

Así, es factible proponer que en el alba de la época prebiótica tuvo a lugar un tipo de evolución que hizo posible la aparición, con posterioridad, de la evolución por selección natural.

Tomando todo esto en consideración, es que podemos visualizar a esos tiempos como siendo el primer paso que se dio, en la transición desde la materia inanimada hacia la emergencia de los primeros organismos vivientes.

De lo dicho hasta el momento, podemos afirmar que la evolución en los inicios de los tiempos prebióticos no tuvo porque involucrar a la selección natural.

Entonces, si se propone que tanto la emergencia de la información biológica, como la emergencia de la función biológica ocurrieron en tiempos prebióticos, se deduce que no debería de haber ninguna necesidad de pensar ambas fenoménicas en conexión con la evolución por selección natural.

De otro lado, las explicaciones de las diversas maneras en que estos sistemas evolucionaron y se adaptaron a sus medios no tendrían necesidad de recurrir a las nociones de diseño, o, de intencionalidad, ni siquiera en los casos en que éstas fueran utilizadas como adscripciones.

En la medida que podamos identificar los mecanismos del cambio evolutivo en las primeras formas de los sistemas prebióticos, podríamos tener los elementos necesarios para tratar de extender la teoría evolutiva.

Al mismo tiempo, empezaríamos a comprender su conexión con unas -desconocidas y que aún aguardan a ser definidas-, teoría de las funciones biológicas y teoría de la información biológica, que puedan ser entendidas en términos evolutivos sistémicos.

Estoy en total acuerdo con lo que afirman tanto Jablonka, como Kauffman y colaboradores, acerca del poderoso pero limitado alcance que tiene la teoría de Shannon, para poder abordar adecuadamente todas las diferentes clases de información existentes en los sistemas vivientes.

Antes de desarrollar mi propuesta sobre la noción de información biológica, examinaremos a otros autores cuyas contribuciones me parecen importantes, pues ellos se centran en las relaciones entre la información biológica y el significado.

#### **2.4.1 Información-con-Significado**

Así, hemos llegado al problema de tratar de realizar un análisis conceptual que nos permitirá entender cómo el bio-significado (bio-meaning) emerge en la realidad física en términos normativos naturalistas.

Para empezar, discutiremos las ideas propuestas por Menant (2003) y El-Hani et al. (2006).

En conjunción con estos autores, también afirmo que la información biológica es *'información con significado'*.

En su trabajo, Menant hace posible una aproximación sistémica para la generación del significado. La información significativa (con significado), se define como la conexión existente entre una información que es recibida por un sistema y la constricción de ese sistema:

“Un significado es una información significativa que se ha creado por un sistema sometido a una constricción, cuando recibe una información incidente que tiene una conexión con la constricción. El significado está formado por la conexión existente entre la información recibida y la constricción del sistema. La función de la información significativa es la de participar en la determinación de una acción que se llevará a cabo con el fin de satisfacer la constricción del sistema.”<sup>27</sup>

Tal definición de significado pone al sistema en el centro del proceso. El significado es generado por el sistema y para el sistema en su medioambiente.

Se puede observar, que Menant está preocupado por el entendimiento de la definición de significado. Su propuesta es como la nuestra: no existe ninguna manera de dejar la noción de significado aparte de la noción de ‘información significativa’.

En sus escritos, se nos recuerda que generalmente el estudio del significado se desarrolla con la noción de información cuando es procesada por los humanos.

---

<sup>27</sup> “A meaning is a meaningful information that is created by a system submitted to a constraint when it receives an incident information that has a connection with the constraint. The meaning is formed of the connection existing between the received information and the constraint of the system. The function of the meaningful information is to participate to the determination of an action that will be implemented in order to satisfy the constraint of the system.” (Menant 2003, p. 197).

Situación que nos conduce, inevitablemente, a los problemas que se producen cuando estudiamos a la mente humana. Y como sabemos, el estudio sobre la mente humana (hasta el momento), se encuentra muy alejado de poder haber sido abordado enteramente por el conocimiento científico.

Por estas razones, es que Menant propone una estrategia “de abajo hacia arriba” (bottom-up): empezar con los menos complejos y mejor entendidos sistemas vivos no humanos -que contienen constricciones de sobrevivencia más simples- y dirigirse, con posterioridad, a casos más complejos a través de un acercamiento evolutivo.

Un organismo simple (tal como un paramecio), tiene la capacidad de desarrollar comportamientos específicos para afrontar cambios medioambientales. En frente de un medioambiente ácido, el paramecio disparará diferentes clases de mecanismos internos cuyo resultado final será la acción de distanciar al paramecio de ese medioambiente ácido:

“... el paramecio ha creado un sentido en relación con la acidez de su entorno, en conexión con la satisfacción de sus constricciones vitales...”<sup>28</sup> .

Dirigiéndose hacia una forma más generalizada, Menant propone cinco características relacionadas con el significado.

---

<sup>28</sup> “...the paramecium has created a meaning related to the acidity of its environment, in connection with the satisfaction of its vital constraints” (Ibid., p. 196).

Un Sistema Generador de Significado (Meaning Generator System-MGS), es introducido como un ladrillo de construcción que permite las relaciones funcionales con otros sistemas.

El MGS, podrá ser usado para una aproximación evolutiva de la generación del significado en el interior de organismos más complejos, incluyendo sus constreñimientos específicos.

En esta aproximación sistémica, la generación del significado por un sistema está directamente relacionada hacia la manutención de la naturaleza fundamental del sistema en su medioambiente, situación que se logra mediante la satisfacción de la construcción. En este sentido, el significado estaría indisolublemente relacionado con la construcción del sistema.

Me encuentro muy en concordancia con este entendimiento de la conexión que se produce entre la información, el significado y el sistema.

Sin embargo, en mi aproximación se presentan otros aspectos que necesitan ser abordados, con el fin último de alcanzar un entendimiento más profundo de la relación existente entre el significado y la información.

Así, podemos pensar en algunos otros aspectos, como proponer la naturaleza que tiene la 'constricción vital'. También, es posible preguntar cuál podría ser la dinámica específica entre el sistema y su medioambiente tal que la 'información incidente' sería reconocida y transmitida hasta ciertos niveles en el interior del sistema.

Finalmente, ¿cuáles son las maneras en que podríamos entender las distintas formas en que la información significativa está participando de las respuestas que el sistema desarrolla? Ciertamente, los aspectos más importantes que están inmersos en cada una de éstas preguntas, serán abordados en breve.

En el caso de las propuestas de El-Hani y colaboradores, podemos decir que hay una aproximación Peirceana sobre el significado en los procesos, y estos investigadores visualizan que la expresión genética se encuentra típicamente regulada por procesos que involucran a la señalización. Por ende, se producirían procesos comunicativos entre las células, o, entidades a altos niveles en los organismos.

En dicho trabajo, existe una propuesta acerca de entender exactamente qué significan los genes y la información genética, utilizando una interpretación 'biosemiótica-triádico-dependiente' de los procesos:

"...Una respuesta controlada, regulada por una célula, no es posible sin la señalización. Cuando un producto génico particular es necesitado, una señal del medio ambiente activa la expresión de un gen dado por medio de mecanismos de señalización. La célula, como intérprete, responde a una señal del medio ambiente por medio de una alteración específica de sus estados internos, provocados por toda una red de transducción de señales que

culmina en un cambio en algún nivel de regulación de los genes..."<sup>29</sup>.

¿Hasta qué nivel, pueden los genes ser percibidos como siendo básicamente 'los transportadores de la información hereditaria'?

Los autores proponen una aproximación a la información desde una perspectiva biosemiótica Peirceana, la cual es aplicada al análisis de la transcripción y la síntesis proteica.

En este sentido, proponen que existirían tres niveles semióticos, a saber, 'el nivel focal', el 'nivel micro-semiótico' y el 'nivel macro-semiótico' (éstas últimas serían también dos constricciones).

En donde visualizan el nivel micro-semiótico, como el conjunto de información potencial que existe en un genoma que puede ser actualizado por procesos regulatorios, y que se encuentran instanciados en el nivel macro-semiótico.

Continúan afirmando que ciertamente debe de haber 'material basura' en los genomas y esto es precisamente lo que no es información potencial, pues nunca puede ser actualizado.

---

<sup>29</sup> "A controlled, regulated answer by a cell is impossible without signaling. When a particular gene product is needed, a signal from the environment activates the expression of a given gene by means of signalling mechanisms. The cell, as an interpreter, answers to an environmental cue by means of a specific alteration of its internal states, triggered by a whole network of signal transduction culminating in a change at some level of gene regulation" (El-Hani et al. 2006, p. 46).



Sin embargo, cada uno de los genomas, como productos de la evolución, deben de tener información potencial y este es el punto que ellos resaltan cuando están hablando del nivel micro-semiótico.

Debido a la distinción existente entre información potencial y secuencias azarosas, es que es posible discriminar entre aquello que es 'material basura', de aquello que puede ser significativo al nivel micro-semiótico.

Esta es una aproximación interesante a las nociones de información y significado, desde el punto de vista de la semiótica Peirceana.

A diferencia de esta alternativa, lo que propongo en mis argumentos para tratar de explicar la relación que existe entre la información y el significado, es usar los potenciales que encontramos en la física, en la fisicoquímica y en la química, que permiten y también provocan –en ciertas condiciones muy específicas-, la emergencia de fenómenos que resultan ser naturalísticamente normativos.

Sin embargo, para poder entender más comprensivamente la propuesta de El-Hani y col., es importante que elabore algunas interrogantes: ¿Podría esta especial interrelación semiótica entre los procesos haber emergido en términos naturalistas? Y si fuera así, ¿cuáles pudieron haber sido las fuerzas que condujeron a esta situación? ¿Podría este modelo explicar los 'fallos en la transmisión' de la información genética?

Los investigadores mencionados, no dicen mucho acerca de la evolución de la semiótica en este punto. Sin embargo, suponen que el establecimiento de superficies que distinguieran entre un medio interno y un medio externo en sistemas protocelulares en los orígenes de la vida, fueron las más importantes fuerzas que condujeron a las células convertirse en sistemas semióticos.

Para el caso de las pérdidas de información, o, malinterpretación de la misma, ellos piensan que las condiciones patológicas celulares son los lugares por excelencia para empezar estos estudios, y ellos planean modelar un caso especial de fallos en la transmisión de la información (comunicación personal).

Podemos ver, que en estas búsquedas conceptuales se presenta un nuevo entendimiento acerca del rol que estaría jugando la información en los sistemas vivientes. Más aún, vemos también, de manera general, un reconocimiento de la importancia de tomar en cuenta en los estudios la naturaleza semántica de los organismos.

Incluso, en las dos aproximaciones que hemos presentado brevemente, la 'información con significado' emerge en el interior de los sistemas biológicos, y esto es debido, a una conexión con algunas constricciones internas existentes.

En lo que sigue de este capítulo, presento mis propuestas sobre la información biológica y el significado.

## **2.5 La Información Biológica como Bio-Significado**

En este contexto, es razonable postular constructos teóricos, en la medida que ellos nos permitan ahondar en la naturaleza de la organización dinámica de aquellos sistemas que poblaron la época prebiótica.

De este modo, sostengo que ya el origen mismo del mundo prebiótico conllevó la existencia de sistemas con un cierto nivel de complejidad mínima en su dinámica de organización.

Mi propuesta acerca de la información biológica, es que constituye una de las tres características más básicas y esenciales de los organismos vivos. Como decíamos en el capítulo anterior, las otras dos propiedades básicas son la función biológica y la autonomía.

En consecuencia, el tipo de auto-organización de nuestro Sistema Dinámico Informativo es una sostenida y robusta "dinámica organización informativa y funcional".

Presentando a esta propiedad de manera más precisa, puedo mencionar que la información biológica se revela físicamente como una 'información con significado'. Es decir, una "información con significado-biológico".

Dicho significado, no depende de ningún tipo de adscripción, o, interpretación humana, más bien, sostengo que el significado es '**bio-significado**'.

### **2.5.1 Información Biológica y Redes Moleculares**

El tipo de dinámica auto-organizativa en mi constructo conceptual, nos refiere a una real conexión entre una red hecha de compuestos químicos muy simples, y la emergencia de la información con significado biológico que se produce en las interacciones locales de los procesos envueltos en esta red.

Esta especial forma de auto-organización, sólo pudo ser posible debido a la pre-existencia de ciertos tipos de procesos. Para ser más específicos, tres tipos de procesos. Se puede afirmar, al mismo tiempo, que el sistema contiene dos tipos diferentes de constricciones (Kauffman 2000; Pattee 1972).

La primera de ellas, es la espontánea auto-organización de una membrana protoplasmática - hecha de simples estructuras anfifílicas - que imitan, al menos cualitativamente, algunos de los procesos básicos que despliegan las membranas plasmáticas actuales (Segré et al. 2001).

Este tipo de proceso, permite una interacción dinámica con su entorno externo e interno: una membrana semi-selectiva que contiene los compuestos que generarán los procesos que le dan al sistema la capacidad de gestionar, tanto las condiciones externas, como las internas.

En esta constricción, además, se puede observar la aparición de un comportamiento agencial con respecto a su entorno externo e interno (captura de los recursos energéticos, control

de los gradientes de concentración por transporte activo, entre otros).

El segundo proceso es también una constricción. La denomino "constricción básica", ya que es quien directamente mantiene el estado alejado del equilibrio termodinámico. Es un ciclo entre los procesos endergónicos vinculados con los procesos exergónicos, con la capacidad añadida de generar trabajo: una condición necesaria y suficiente para producir los fenómenos dinámicos de auto-organización (Kauffman 2000).

Es importante destacar que los dos tipos de constricciones están tan interrelacionadas, que una muy básica y directa comunicación existe entre ellas.

Adicionalmente, encontraremos otros tipos de procesos que forman -junto con los dos anteriores-, la identidad de la dinámica organizacional del sistema. El tercer grupo de procesos, es una red de reacciones que lleva a cabo los procesos de regeneración de la dinámica organizacional, el mantenimiento y reproducción del sistema dinámico informacional y está, en un modo u otro, conectado a las constricciones.

El sistema dinámico informacional está organizado por la interrelación e interdependencia de estos tres tipos de procesos.

Como sabemos, la correlación entre los procesos es un fenómeno esperado cuando un sistema está en las condiciones de alejamiento del equilibrio (Kosztin & Schulten 2004; Levine 2005).

La constricción básica, en nuestro modelo conceptual, es el paso más importante hacia los orígenes del mundo prebiótico.

La correlación entre los procesos endergónicos y exergónicos, podría ser significativamente favorecida por la existencia de compuestos con enlaces de 'alta energía' formando, de esta manera, un micro-ciclo que es capaz de generar trabajo (trabajo químico).

El pirofosfato inorgánico y/o un tioéster sencillo, podrían haber sido las ancestrales "monedas energéticas" moleculares de estos tipos de enlaces químicos.

Fue de Duve, quien propuso el 'mundo tioéster', el cual representa una:

“...hipotética fase temprana en el desarrollo de la vida, que podría haber proporcionado el marco energético y catalizador del conjunto de reacciones químicas protometabólicas primitivas que condujo desde los primeros ladrillos de construcción de la vida, hacia el mundo del ARN y, posteriormente, sostuvo el mundo del ARN hasta que el metabolismo se hizo cargo...”<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> “hypothetical early stage in the development of life that could have provided the energetic and catalytic framework of the protometabolic set of primitive chemical reactions that led from the first building blocks of life to the RNA world and subsequently sustained the RNA world until metabolism took over” (de Duve 1995, p. 436. Estas ideas las ha desarrollado con más detalle en su último libro, de Duve 2005, pp. 54-65).

El punto interesante aquí, es que el enlace tioéster es lo que los bioquímicos llaman un "enlace de alta energía", equivalente a los enlaces de fosfato del adenosin trifosfato (ATP).

En las células actuales, nos encontramos con que los tioésteres están vinculados con la formación de ésteres, incluidos los que se encuentran en los lípidos complejos. Nosotros también encontramos que participan activamente en la síntesis de péptidos, ácidos grasos, esteroides, terpenos, porfirinas, entre otros compuestos.

Esta última referencia hace que sea claro lo que hemos dicho más arriba, acerca de la existencia de una relación estrecha y directa entre las dos constricciones en nuestro modelo. Acabamos de establecer la viabilidad de mantener un intercambio adecuado de energía entre el ciclo exergónico-endergónico, y la producción de compuestos (realización de un trabajo químico) que tienen mucho que ver con la formación (y regeneración) de una membrana protoplasmática.

Así, la organización dinámica del sistema en el Sistema Dinámico Informativo es, en realidad, un conjunto de procesos interrelacionados e interdependientes.

Y esta interconexión entre los procesos, mantiene una forma determinada que concretamente los conecta con la restricción (la restricción básica) que permite que el sistema permanezca en el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Podemos apreciar en este momento, cómo las señales se convierten en información significativa (bio-significado).

Si una variación energético material es incorporada en algún lugar en el interior del sistema, en la forma de variación, entonces, se convertirá en una señal para el sistema.

Posteriormente, si esta señal en el interior del sistema produce algún tipo de impacto (un efecto) en la cohesión del sistema, entonces, se convertirá en información significativa para el sistema.

La cohesión (la noción de cohesión de Collier: Collier, 1986, 2004) es la idea que le proporcionaría al sistema dinámico informacional su identidad, en todas sus transformaciones en el tiempo.

Dicha cohesión estaría constituida por el conjunto de relaciones e interdependencias que existen entre los procesos.

De hecho, es una definición relacional y dinámica que abarca la naturaleza de la organización del sistema.

En todos los casos, sea un efecto a favor o en contra de la cohesión, el sistema desarrollará algún tipo de respuesta que se correlacionará con la información significativa y el proceso o procesos envueltos por el efecto.

Imaginemos una situación ideal, en la que todos los procesos del sistema realizan todas y cada una de sus acciones en una forma perfectamente equilibrada e interdependiente.

En esta situación, el sistema dinámico informacional está normalmente lejos del equilibrio termodinámico (existe una correlación sostenido entre los procesos, de manera tal que la tendencia a la irreversibilidad puede incrementar).



En este caso ideal, podemos ver lo que está sucediendo en todo el sistema, lo que ocurre entre los procesos y, asimismo, al interior de cada uno de ellos. En este caso, la información generada en cada proceso y en la interacción que se produce en esta red integrada de procesos, serán considerados por el sistema como un tipo de chequeo del sistema para ver si la cohesión no ha sido perturbada.

Así, cada proceso realiza su función determinada en la cual esta red integrada de relaciones se dirige hacia la cohesión de un sistema lejos del equilibrio termodinámico.

## **2.6 *La Dinámica de la Bio-Información***

Nuestra propuesta conceptual, descansa en la suposición naturalista que los sistemas dinámicos informacionales han desarrollado su diferencia de otros sistemas auto-organizados, debido a que han sido capaces de desarrollar y mantener una capacidad que es sustancial para su existencia: mantener o aumentar el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Es posible conjeturar que la constricción básica cause el cambio de la energía libre del sistema ( $\Delta G_{\text{sys}}$ ), para tener una tendencia hacia valores negativos. Tomados como una totalidad a los procesos y sus interconexiones, esto provoca que estén inmersos en continuas y sucesivas dinámicas de orden creciente.

Como esto constituye el aspecto más originario de estos sistemas, me parece que podemos suponer que ello gobierna la multiplicidad de las transformaciones de los comportamientos, de los componentes, de las capacidades y características del sistema en el futuro.

Es debido a esta constricción central - la constricción básica -, que postulamos la emergencia simultánea de la información y la función en las interacciones locales entre los procesos de esta red molecular integrada, la cual es lo que constituye la naturaleza fundamental del sistema dinámico informacional.

Esta es la razón principal por la que sostengo que, desde los inicios en que emergieron los sistemas dinámicos informacionales, el flujo de información puede ser detectado por las ocurrencias de los mecanismos que se producen en la ejecución de alguna función dentro de la organización dinámica de estos sistemas.

Es muy razonable postular que durante la era prebiótica, el tipo de compuestos que encontraríamos serían mayormente de una naturaleza muy simple, y que podrían haber estado inmersos en la dinámica natural del mundo físico y los fenómenos de auto-organización.

Por lo tanto, es altamente posible que se hubiera formado una relación, una interconexión, entre los tres tipos de procesos que estamos, precisamente, proponiendo.

El sistema dinámico informacional tiene el comportamiento de un agente autónomo. Incluso, la constricción básica que se

encuentra conectando las reacciones exergónicas con las endergónicas para producir trabajo químico, es fundamental en nuestra definición.

Y así, es que puedo conectar a estos procesos termodinámicos con la autocatálisis, con el ciclo químico de trabajo, al sistema en no-equilibrio, a la autonomía y agencia y, en fin, con las nociones de signo, función e información.

Por otro lado, la cercana y fuerte relación que se produce entre los dos tipos de constricción, en conjunción con, la emergencia local de la información y la función biológicas, nos permite comprender la emergencia de la propiedad global conocida como autonomía.

En primer lugar, la constricción básica es fundamental para proporcionar al sistema un cierto grado de independencia con relación a su medio ambiente, ya que genera las condiciones para estar en situaciones de no equilibrio: este es el ciclo endergónico-exergónico capaz de producir - en cada ciclo - cantidades de energía libre al sistema, que son apropiadas para generar trabajo (de un tipo fundamentalmente químico).

Esto significa que ser un sistema en el estado de no equilibrio es una prioridad intrínseca al sistema, por tanto, la generación de dicho estado es el más decisivo fundamento del sistema dinámico informacional.

La segunda constricción, formaría otra parte importante de la organización dinámica de estos sistemas, es aquella que forma a la membrana protoplasmática. Primeramente, este

componente permite una separación, una barrera física entre el sistema y su entorno, causando desde allí, una distribución diferente de los compuestos, una dinámica diferente, y una interacción diferente entre los procesos.

También permite que ciertas propiedades de la química puedan tener un punto focal de acción, para generar posibles circunstancias problemáticas, las que a su vez producirían las situaciones condicionantes para la exploración de diferentes estrategias de solución para el sistema en el futuro. Algunos ejemplos que podemos citar son las propiedades coligativas, la cinética química, los gradientes electroquímicos, entre otros.

La membrana protoplasmática, es el lugar donde objetivamente se podrá observar la emergencia de la autonomía. Es la parte del sistema que regula la interacción con su medio ambiente, así como, proporciona los componentes necesarios (materia y energía) para que los procesos internos del sistema continúen produciendo sus mecanismos en condiciones compatibles con su supervivencia: de esta manera, la cohesión del sistema no se altera.

Esta parte de la organización del sistema es aquella que es un completo agente, ya que permite la resolución de los problemas osmóticos, la concentración adecuada de los componentes en los procesos internos del sistema, la gestión de los gradientes electroquímicos, la reducción de las posibilidades para la entrada de elementos extraños a su organización, entre otros.

Y es esta clase de membrana protoplasmática, la que proporcionaría a los sistemas de las épocas prebióticas la capacidad de ser 'evolucionables' desde sus orígenes.

Hablamos de la capacidad de evolucionar, cuando somos capaces de observar una variación fenotípica que es susceptible de ser un objetivo de la selección natural o, en otras palabras, cuando un organismo tiene la capacidad de generar una variación fenotípica que es heredable (Altenberg 1994; Conrad 1990; Dawkins 1989; Kirschner & Gerhart 1998; Wagner & Altenberg 1996).

Sin embargo, cuando estamos pensando en los orígenes del mundo prebiótico, no podemos establecer este tipo de asociaciones. Es casi imposible pensar que en aquellas épocas remotas existían algunas entidades moleculares tan complejas y sofisticadas como los ácidos nucleicos o las proteínas.

Por lo tanto, no es posible hablar en esos momentos de la evolución en términos de la selección natural.

Más bien, podríamos hablar de una evolución prebiótica que habría provocado la aparición, muy posteriormente, de la evolución por selección natural.

En esencia, lo que estamos proponiendo entonces, es que es posible hablar de tener la capacidad de evolucionar en el mundo pre-biótico.

A pesar de que el término 'tener la capacidad de evolucionar' (evolvability), es un concepto nuevo y sofisticado, y se ha definido y utilizado de diferentes maneras; no obstante, está

sólidamente fundamentado en los datos empíricos (Colegrave & Collins 2008).

Se cree, que la 'evolucionabilidad' depende de fenómenos biológicos, tales como el grado de modularidad de los sistemas de desarrollo (Callebaut & Rasskin-Gutman 2005), así como en su "robustez" a las perturbaciones (Wagner 2005; Lenski et al. 2006).

Tal vez, el uso más profundo de la evolucionabilidad, está relacionado con 'la capacidad de generar nuevas variaciones, o el de adquirir nuevas funciones' (Wagner 2005).

Con el fin de ser capaces de comprender las conexiones más importantes, entre la capacidad de evolución y las innovaciones evolutivas que se producen en los inicios de la época prebiótica, podemos preguntarnos si es que un sistema prebiótico podría ser capaz de evolucionar, en términos de generar variaciones novedosas a través de la adquisición de nuevas funciones.

Es posible pensar, que la especial auto-organización dinámica de los sistemas dinámicos informacionales, exploró maneras de mantener intacta la interconexión entre sus procesos básicos, a través de la adquisición de nuevas funciones que ayudaron a los sistemas prebióticos a sobrevivir y reproducirse, pero no específicamente a través del cambio genético.

La 'capacidad de innovar' (y por tanto de evolucionar) en los sistemas dinámicos informacionales, se debe a su - sostenida y robusta - intrínseca dinámica de auto-organización.

Es debido a que este sistema tiene la capacidad de permanecer por sí mismo en un estado muy alejado del equilibrio termodinámico, al interior de su dinámica auto-organizativa, que puedo postular que su 'potencial de innovación' no estuvo gobernado más que por aquello que constituye su cohesiva dinámica forma de existir.

Una vez que estos sistemas están enfrentados a un problema específico que el entorno genera, las diferentes soluciones posibles (estrategias) que se producen en las membranas protoplasmáticas del sistema como un producto de la reproducción de estos sistemas, no son más que el mantenimiento de la integridad de su dinámica organización: el mantenimiento de la estrecha interrelación entre los tres tipos de procesos que darían a lugar, en cada momento y en cada tipo de sistema prebiótico, a la expresión física de la información, la función y la autonomía.

En otras palabras, el sistema evolucionó enfrentando los problemas generados por el medio ambiente, a través de diferentes formas de preservar las propiedades básicas que le caracterizan.

Cada vez que el sistema reproducía su dinámica interna, era justamente por medio del mantenimiento de su cohesión dinámica en relación a permanecer por sí mismo en el estado alejado del equilibrio, así como también, el mantener la interrelación y la interdependencia de los tres grupos de procesos moleculares que están esbozados más arriba.

Al interior de los procesos, los componentes pudieron haber cambiado - pero como un todo -, los descendientes del sistema trataron de mantener sus propiedades más fundamentales intactas y compatibles con su supervivencia, es decir, en condiciones compatibles con el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico (trataremos con más detenimiento la evolución prebiótica en el último capítulo de la tesis).

Para finalizar este capítulo, presentamos brevemente algunas implicancias que se derivan de mis argumentos y que podrían aportar nuevas perspectivas a una teoría de la computación (Klemm & Bornholdt 2005; Mitchell 2010).

No hace más de quince años, que grandes investigadores evolucionistas señalaron que durante la evolución ha habido varias grandes transiciones - cambios - en la forma en que la información genética se organiza y se transmite de una generación a la siguiente. Además, señalaron que si hay entidades que podrían replicarse de forma independiente antes de una transición, después de ella, sólo se replicarían como parte de una más grande totalidad (Maynard Smith & Szathmáry 1998).

Del mismo modo, se podría afirmar que durante la evolución prebiótica y biológica, las formas en que se organizó y se transmitió la 'información con bio-significado' en las redes jerárquicamente estructuradas, se encuentran entre las principales transiciones que se dieron desde los albores de la época prebiótica hasta el tiempo presente.



Como Lloyd (2000) dice: "... la cantidad de información que un sistema físico puede almacenar y procesar, se relaciona con el número de distintos estados físicos que son accesibles al sistema" (p. 1049).

Así, podemos preguntarnos: ¿Cuál sería la cantidad de información significativa, o de 'bio-información' que un sistema vivo puede almacenar? ¿Es posible saberlo? ¿Qué tipo de estados podrían estar relacionados con la cantidad de bio-información? Estas no son preguntas fáciles de responder, pues se necesita más investigación para determinar si existe una relación causal o correlación entre las posibles variables y sus estados con la cantidad de 'información con bio-significado', o 'bio-información'.

Normalmente, nos encontramos a menudo con que los sistemas biológicos funcionan con mecanismos de control descentralizado en el que las numerosas subunidades del sistema - las moléculas de una célula, las células de un organismo, o los organismos de un grupo -, ajustan sus actividades por sí mismos sobre la base de una limitada información local. Esto sucede sin la guía de un controlador externo, o incluso de un centro de control interno.

La forma en que se comportan los sistemas biológicos; es decir, de manera descentralizada y, haciendo todo lo posible para echar mano de la información que tienen en sus alrededores, nos permite suponer que una situación tal como 'Computaciones Biológicas Significativas' podría existir aquí.

Presentándolo en una manera diferente, supongamos que los sistemas biológicos poseen capacidades computacionales (Badre &

Wagner 2006; Hopfield 1982). Entonces, es preciso formular la siguiente pregunta: ¿Hay principios generales que regirían a las computaciones biológicas?

Como sabemos, las estructuras 'small-world' han surgido de forma espontánea en el reino biológico. Una cuestión importante es, cómo pudo haber sucedido esto (Gong & van Leeuwen 2003, 2004).

Las redes 'small-world', tienen un potencial interesante como modelos para la interacción de las estructuras en los sistemas complejos (Amaral et al. 2000; Strogatz 2001; Watts & Strogatz 1998).

Nuestro modelo conceptual - traducido a uno formal -, puede ser utilizado para ayudarnos a comprender la formación de las redes estructuradas en algunos sistemas reales con unidades dinámicas.

Uno de nuestros objetivos de investigación en el futuro, es encontrar ciertos criterios que nos ayudarán a aclarar las posibles formas en que la 'Computación Biológica Significativa' puede surgir en el universo físico. De esta forma, estaremos contribuyendo a la discusión que busca revelar los principios generales que rigen a la computación biológica.

Otro objetivo, es tratar de descubrir una posible forma de explicar cómo se produce la emergencia del fenómeno 'small world' (Duchon et al. 2006; Kleinberg 2000) –conteniendo; entre otros, características libres de escala y capacidades evolutivas–, a partir de procesos estocásticos espacio-temporales dentro de la dinámica de simples fenómenos físicos (compuestos moleculares simples,

interconectando a los tres tipos de procesos en nuestro modelo conceptual).

También forma parte de mis intereses futuros, tratar de descifrar cómo emerge – en las interacciones entre los componentes de nivel inferior que se efectúan bajo las reglas que se ejecutan usando sólo información local – una especie de *'punto de referencia relativo'*, que permitiría el desarrollo en términos naturalistas de *'algo que sea ávido de'* en las rutas de las vías 'small-world' biológicas.

## **Capítulo 3.**

### **El Origen de la Función Biológica**

En este tercer capítulo, me centraré en el problema de la atribución funcional en biología. A partir de un estudio sobre lo que pudo significar el origen de la funcionalidad biológica, me encaminaré a realizar una fundamentación filosófica acerca de lo central que constituye el concepto de función, que revela a una de las características más propias de los sistemas vivientes. Más propiamente, mi investigación sobre el problema de la adscripción funcional en biología, se ubica en una perspectiva evolucionista. De modo tal, que me dedicaré a postular un posible escenario en la evolución prebiótica: sostengo que el origen de la evolución prebiótica, está asociado con el origen de la función biológica.

### **3.1 *Introducción***

El problema de las funciones en biología, es el tema central de este tercer capítulo de mi tesis.

Más precisamente, el presente capítulo estará dedicado al estudio de las consecuencias que pueden derivarse de mi modelo conceptual (que ha sido expuesto en el primer capítulo), respecto de un punto importante en el problema de las funciones en el reino biológico: ¿qué momento de la evolución, podemos considerarlo como aquel en donde se originan las funciones biológicas?

Retrotrayendo a la memoria, en ese mi primer capítulo, se hubo adelantado lo que yo estimaba como una consecuencia racional del comportamiento y estructuración dinámica de mi sistema dinámico informacional: la emergencia de este tipo de sistema, es el momento en que se produce, tanto el origen de la información biológica, como el origen de la función biológica.

Además, en el capítulo anterior me he abocado a la defensa filosófica de porqué considero que es en la emergencia de los sistemas dinámicos informacionales, en donde es posible observar que la información biológica emerge en el mundo físico.

Mi tarea ahora, es hacer lo propio con el problema del origen de las funciones biológicas.

Para ello, empezaré con una exposición resumida de los aspectos más relevantes que contienen las propuestas más importantes, acerca de las funciones en general, y de su aplicación para el caso de las entidades biológicas.

Hago esta aclaración, pues mi escrito doctoral está centrado exclusivamente para el caso de los sistemas vivientes.

Por tanto, el estudio de las aplicaciones de ésta mi propuesta sobre las funciones para otros casos, como a las ciencias sociales, o para el caso de los aparatos tecnológicos, desbordan este trabajo de investigación.

Después de haber presentado y analizado sucintamente las alternativas más conocidas en la adscripción funcional, presentaré y defenderé mi propuesta naturalista de las funciones biológicas.

### **3.2 Conceptos de Función en Biología**

El gran debate acerca de la naturaleza de las funciones, junto con la identificación de las condiciones necesarias y suficientes para la atribución funcional a un objeto, una propiedad, o, a una estructura, es una discusión filosófica de muy antigua data.

Por otra parte, es importante resaltar que una teoría filosófica sobre las funciones, debe pronunciarse sobre los argumentos que: (1) describen lo que hace que una función sea una función, y (2) juzgan la legitimidad del uso de esta noción, para explicar la existencia del elemento al que se le atribuye dicha función<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Al lector le indico tres colecciones de ensayos (escritos por los principales expertos en este campo de la filosofía), para aquellos que deseen tener una visión más amplia acerca de las cuestiones centrales, relativas a los múltiples matices en el debate, sobre los detalles de un análisis adecuado del concepto de función: Allen et al. (1997), Buller (1999), Ariew et al. (2002).

Otro aspecto que me parece necesario puntualizar en estos momentos, se refiere al hecho que mi argumentación sobre las funciones en biología, tiene como objeto central arribar a una conceptualización más clara de la(s) forma(s) en que se debería usar la terminología funcional, en muchas disciplinas y sub-disciplinas que envuelven a las investigaciones en biología (Lundberg et al. 2010; Weng et al. 2012).

Empezamos la presentación de las aproximaciones al concepto de función, haciendo mención al debate entre aquellos que, por un lado, adscriben o atribuyen una función a algún componente de un sistema, por su contribución a una meta o a una determinada capacidad que es objeto de nuestro estudio (Cummins 1975; Boorse 1976; Adams 1979; Craver 2001).

En el otro frente de este debate, tenemos a aquellos investigadores que atribuyen una función a 'algo', sobre la base de la historia causal de este 'algo'.

El iniciador de las propuestas etiológicas fue Wright<sup>2</sup> (1973), y de manera interesante, considera que la adscripción funcional tiene que ser entendida como un tipo de explicación:

“... las adscripciones funcionales explicativas son, en cierto sentido, etiológicas, pues se refieren a los antecedentes causales del fenómeno en cuestión. Y esto es realmente lo que quiero discutir: las

explicaciones funcionales, aunque evidentemente no sean causales en el sentido usual, restringido, se ocupan de cómo la cosa con la función *llegó allí...*<sup>3</sup>

Para el caso de las funciones biológicas, la historia causal que cuenta, es aquella que se produce por la acción de la selección natural.

De manera tal que una molécula, una característica, un órgano, tiene ***esa función*** pues fue seleccionado por conferir una ventaja selectiva al ser vivo que la portaba (Millikan 1984, 1989; Mitchell 1989; Neander 1991).

Y en variantes a esta alternativa, se atribuyen funciones a estos elementos sobre la base de su propensión a ser seleccionados (Wouters 2003). Es decir, se define a las funciones como los efectos que mejoran las oportunidades de vida de sus portadores (Canfield 1964, 1965; Ruse 1971; Wimsatt 1972; Bigelow & Pargetter 1987; Horan 1989).

Para tener una imagen más abarcadora, expondré de manera muy esquemática a estas dos grandes propuestas, señalando sus fortalezas y sus problemas.

---

<sup>2</sup> La teoría de Wright no es etiológica en el sentido biológico usual, porque su aproximación no requiere que el rasgo funcional haya sido seleccionado por tener esa función (Millikan 1993, pp. 31–50).

<sup>3</sup> “... that functional ascription-explanations are in some sense etiological, concern the causal background of the phenomenon under consideration. And this is indeed what I wish to argue: functional explanations, although plainly not causal in the usual, restricted sense, do concern how the thing with the function *got there...*” (Wright L. 1973, pp. 156. La cursiva está en el texto).



### **3.3 Teorías de la Función**

Se supone que una teoría filosófica de la función, debe de establecer criterios para distinguir los efectos que son funciones, de los efectos que no lo son. Así, las teorías son juzgadas por el grado en que se reproducen nuestras intuiciones, acerca de cuáles efectos son funciones, y cuáles no.

Además, también parece importante que una teoría de las funciones, tenga los criterios para discernir entre la función de 'algo' y los efectos accidentales que ese 'algo' produce. Lo mismo, debería ocurrir para los casos de malfuncionamiento, entre otros aspectos que iré detallando, conforme exponga las diferentes aproximaciones al concepto de función.

Aún cuando en la literatura, podemos apreciar un gran bagaje de estudios filosóficos que analizan y clasifican al conjunto de propuestas teóricas de las funciones que se han desarrollado, en lo que se refiere al presente subcapítulo, voy a seguir la tradición de dividir las en dos grandes aproximaciones.

Además, a renglón seguido, haré una mención especial a las formas variadas en que es usado el concepto de función biológica, por los investigadores en las distintas áreas de la biología (para ello, tomaré la guía de Wouters 2003a, 2003b, 2005).

A continuación, presentaré una aproximación reciente a las funciones, la "teoría organizacional", señalando sus virtudes y sus problemas. Así, la argumentación que presente, me ayudará a exponer, y defender mi propuesta central de este capítulo: la emergencia de la funcionalidad biológica en la era prebiótica.

### 3.3.1 La aproximación etiológica

La aproximación etiológica, define la función de un rasgo, una característica, por medio de su historia pasada, de su etiología.

En particular, las funciones son los efectos pasados de un rasgo o característica, que explican causalmente su presencia presente. La explicación causal, es del tipo *'debido a que este rasgo (característica, proceso, etc.), producía tal y tal efecto en el pasado, es que pudo pasar un proceso de selección (la selección natural, para las funciones biológicas), y se puede afirmar que posee en la actualidad esa función'*. En otras palabras, en esta aproximación, las funciones son efectos que han sido seleccionados (Neander 1991).

En otras palabras, la función de **X** es **Z** sí, y sólo sí:

- (1) **Z** es una consecuencia (un resultado) de que **X** este allí
- (2) **X** está ahí, porque hizo **Z** (en el pasado)

Se pueden referir aspectos importantes en esta aproximación. La primera, se asocia a la presencia de un rasgo (característica, proceso, etc.), pues su existencia actual se debería a los efectos propios del rasgo (característica, proceso, etc.). Es decir, las actividades propias del rasgo es lo que dan cuenta de su presencia.

Además, permite una distinción entre los efectos accidentales y los efectos esenciales, la actividad esencial es la que aseguró la proliferación de los rasgos del mismo tipo en el pasado. Apoyar gafas no es una de las funciones de la nariz, porque las narices no están allí debido a este desempeño. Más bien, las narices actuales

están allí, pues las del pasado fueron seleccionadas por realizar funciones, tales como, las respiratorias y las olfativas.

Efectivamente, la aproximación etiológica de las funciones, hace una clara distinción entre la función de un rasgo, y los meros efectos que produce dicho rasgo. Así, aquello que es **la función** de ese rasgo, es por lo cual fue seleccionado **ese tipo** de rasgo en el pasado.

Es importante apreciar que la aproximación etiológica ofrece un aspecto normativo a la noción de función.

Una tercera virtud de esta aproximación, la podemos apreciar para el caso del malfuncionamiento. Si la función de un rasgo es por lo que fue seleccionado ese tipo de rasgo en el pasado, entonces, puede que existan rasgos de ese tipo que no funcionen del todo, o que no funcionen correctamente. Sin embargo, en el interior de la aproximación etiológica, ello no quiere decir que hayan perdido o cambiado de función.

Un corazón siempre tendrá la función de bombear la sangre, aún cuando, existan corazones que no bombeen bien, o no bombeen en absoluto, la sangre.

Fue Neander (1991), el que presenta a la aproximación etiológica apelando de manera explícita a la selección natural: la función de una cierta ocurrencia de un rasgo, es producir los efectos por los cuales los sucesos anteriores de este rasgo se seleccionaron por la selección natural.

Es una teoría de las funciones, que se basa en la selección de efectos, para adscribir funcionalidad a determinado rasgo. Entonces,

esto hace posible que un rasgo **tenga una función**, y no se requiera que de manera efectiva la realice. Ni que, incluso, sea capaz de realizar o llevar a cabo su función. Es suficiente que en el pasado, el rasgo produjera un cierto efecto (por el cual fuera objeto de la selección natural), y que es por ese rendimiento pasado, lo que explica su presencia actual.

Si la aproximación de Neander hizo posible referirse explícitamente a las funciones biológicas, la aproximación que toma Millikan (1984), ofrece una aplicación a cosas tan diversas como los órganos, los comportamientos, los artefactos, costumbres, partes de las organizaciones, las palabras y formas gramaticales.

La teoría de Millikan de las **'funciones propias'**, es la aproximación más conocida de las funciones normativas.

En resumen, la solución de Millikan puede caracterizarse como sigue<sup>4</sup>:

- (a) Una función propia de un rasgo **m**, es un efecto causal que los antepasados de **m** tenían, y
- (b) Que contribuyó a la supervivencia y la reproducción de los antepasados del organismo que lleva **m**.

De acuerdo con Millikan, las funciones propias se seleccionan por una reconstrucción de cómo llegaron a ser, lo que obviamente ocurrió durante el curso de la evolución. Sin embargo, cualquier aproximación etiológica se ha comprometido a hacer un reclamo más fuerte, es decir, que las funciones son traídas a la existencia, no

---

<sup>4</sup> Ver Millikan 1984, p. 28.

sólo durante la evolución, sino por un tipo particular de mecanismo evolutivo, es decir, por la adaptación selectiva.

Cabe aclarar que no es mi propósito en el presente subcapítulo, ni en el conjunto de mi tesis, extenderme en un estudio pormenorizado de cada una de las aproximaciones al concepto de función, sus variantes y sus soluciones a problemas específicos en el debate filosófico sobre este tópico.

En realidad, solamente presento sus aspectos más característicos como antesala a la propuesta que se deriva de mi sistema conceptual. En particular, estoy interesado en explorar cual podría ser el tipo de funcionalidad biológica que emergió en el mundo prebiótico.

Así, mi aporte en este debate, trataría de ser una clarificación acerca de cuál es la concepción de función biológica, que puede tomarse como la más primigenia, la más antigua, en el origen mismo de lo que significó ser una función en lo biológico.

Y es posible, que en un futuro no muy lejano, pudiera tentar explorar en otros trabajos de investigación, cómo pudo haberse producido -a partir de este comienzo-, la adición de otros tipos de funcionalidad biológica.

Volviendo a retomar nuevamente el tema de la aproximación etiológica, se puede apreciar que esta concepción de función ha sido objeto de diversos tratamientos y precisiones, que llevan a postular versiones más o menos refinadas, más o menos abarcadoras (Godfrey-Smith 1994; Buller 1998; Schwartz 1999).

También, se puede mencionar que las teorías etiológicas de la función, han tenido gran aceptación entre los filósofos naturalistas de la mente y del lenguaje. En especial, porque pueden aproximarse de manera naturalista a fenómenos importantes en filosofía de la mente y en filosofía del lenguaje, como el tema de los contenidos mentales, el problema de la mala interpretación, el problema del significado, entre otras aplicaciones (ver por ejemplo, Millikan 1986, 1993; Papineau 1987; Dretske 1988; Salmon 1989; Mitchell 1995).

Para finalizar la exposición de esta propuesta filosófica sobre las funciones, señalaré algunos de los problemas que presenta.

El primero de ellos, se refiere al hecho de que es de esperarse que una teoría de las funciones tenga la capacidad de adscribir funcionalidad a los rasgos que son, de alguna manera, ventajosos al organismo, y que los ha llegado a adquirir recientemente por mecanismos distintos a la selección natural, por ejemplo, porque el rasgo no varía más en la población (Hinde 1975).

Otro problema que enfrentan las teorías etiológicas, o del efecto seleccionado, se debe a su dependencia por la selección. Pues, una teoría funcional debería pronunciarse adecuadamente en los enunciados contra fácticos. Es decir, en los casos en que es posible concebir que en un organismo, un rasgo adquiriera una nueva función.

Para esta teoría, sólo sería un efecto más, hasta que no sucediera que fuera seleccionado un descendiente del organismo, por poseer dicho efecto. Por el mismo motivo, tampoco se podría adscribir funcionalidad al corazón de lo que se conoce como un 'organismo

instantáneo'. Es posible pensar en un organismo hipotético, cuyo corazón bombea la sangre, sólo que no es posible rastrearle ninguna historia evolutiva.

Sin duda, parece intuitivamente correcto afirmar que el corazón de ese organismo instantáneo, tiene la función de bombear la sangre, contrario a la conclusión que se derivaría de las teorías etiológicas (Boorse 1976; Enc 1979).

Por otra parte, las teorías etiológicas sufren de un grave problema, tal que, algunos investigadores lo refieren como epifenomenalismo (McLaughlin 2001; Christensen & Bickhard 2002; Mossio et al 2009). El problema, es que las teorías etiológicas basan la atribución funcional en la historia causal del rasgo, y por esta razón, la actividad de hoy en día del rasgo es superflua. Razonablemente, si quisiéramos averiguar cuál es la función del pulmón, es probable que miremos lo que hacen realmente ahora los pulmones en nuestro cuerpo, en lugar de tratar de elaborar una posible historia evolutiva, por la cual se nos haría razonable suponer que los pulmones del pasado fueron objeto de la selección natural, y así, nosotros **encontraríamos** la justificación para denominarla una función.

En lugar de ello, lo que se hace normalmente es ver si los pulmones permiten de manera efectiva la respiración, pues el científico asume que **esta es su función** (más adelante volveremos sobre este punto, cuando pasemos revista a las formas en cómo los investigadores en biología usan el concepto de función).

Finalmente, otro reparo importante en este concepto de función, es el caso en el que la característica funcional de un rasgo persista, contrario a la selección de esa característica.

Por ejemplo, puede ser considerado como una función, el patrón de coloración de las alas de ciertas polillas, para proporcionar camuflaje, incluso, si existen variantes con otro patrón que les confiere una mayor aptitud relativa, ya que proporciona un mejor camuflaje (Wouters 2003a).

### **3.3.2 La aproximación sistémica**

El exponente central de la aproximación sistémica de las funciones es Cummins (1975). Según esta teoría, las atribuciones funcionales describen el papel de un elemento<sup>5</sup> en el mantenimiento de una capacidad de un sistema al que pertenece ese elemento. Es una teoría, que define la función en términos de las capacidades del sistema.

Así, en esta tradición filosófica sobre las funciones, en la medida en que un elemento cualquiera tenga o ejerza un rol que contribuya con el sistema, en esa misma medida, ese elemento tendrá una función. Y esta contribución, puede que sea útil para el sistema (Canfield 1964), buena para el sistema (Sorabji 1964), o de manera general, que sea una contribución a los objetivos o metas del sistema (Boorse 1976).

---

<sup>5</sup> El término "elemento" puede referirse a cualquier parte o contenido de un organismo, como moléculas, organelos, células, tejidos, órganos, entre otros.



Según Cummins, uno puede apreciar mejor las atribuciones funcionales, si se entienden como siendo los productos de los análisis funcionales.

Así, las funciones de un elemento son las capacidades de ese elemento, que son tomadas en cuenta en la explicación funcional de una cierta capacidad compleja:

“.....Atribuir una función a algo, es atribuirle una capacidad, la cual destaca por su papel en el análisis de una cierta capacidad de un sistema que lo contiene. Cuando una capacidad de un...sistema está adecuadamente explicada al ser analizada en un cierto número de otras capacidades, cuyos ejercicios programados producen la manifestación de la capacidad analizada, las capacidades analizadas emergen como funciones...”<sup>6</sup>

Por lo tanto, en la perspectiva de Cummins, las explicaciones funcionales explican una capacidad compleja de un sistema determinado, por la apelación a las capacidades más simples de las partes de ese sistema.

Además, tales consideraciones son explicativas en el sentido causal de una explicación, ya que nos muestran cómo una capacidad compleja es provocada por subsistemas más simples. Y

---

<sup>6</sup> “...To ascribe a function to something is to ascribe a capacity to it which is singled out by its role in an analysis of some capacity of a containing system. When a capacity of a...system is appropriately explained by analyzing it into a number of other capacities whose programmed exercise yields a manifestation of the analyzed capacity, the analyzing capacities emerge as functions...” (Cummins 1975, p. 765).

de este modo, la función de una parte de un sistema, es una capacidad de esa parte, que figura en la explicación funcional de una capacidad de dicho sistema, tomado como un todo.

Podemos afirmar, que la idea general en esta teoría de las funciones, es que la noción de función apela al funcionamiento real del sistema, y el papel que, en este contexto, juega el elemento, o los elementos en cuestión.

Es importante mencionar, que la principal virtud de estas teorías sistémicas, es que capturan nuestra intuición de que la función de un elemento, tiene algo que ver con el rendimiento real y presente de ese elemento (Wouters 2005).

En otras palabras, de acuerdo con el enfoque sistémico, la función de un elemento, es el rol que juega ese elemento en el logro de una actividad o capacidad de un sistema complejo, del cual dicho elemento es una parte.

La estrategia en este tipo de aproximación funcional, es explicar la capacidad de un sistema mediante la descomposición de dicho sistema en un número de componentes, tal que la actividad organizada de los mismos, da como resultado la capacidad a ser explicada.

En todo caso, el poder de esta estrategia de explicación, depende del grado en que las capacidades de las partes, sean más simples que (y diferentes de) la capacidad a ser explicada (Wouters 2005).

Por otro lado, se pueden mencionar algunos aspectos que debería permitir una teoría de las funciones, y que la aproximación sistémica cumple a cabalidad.

En primer lugar, la teoría sistémica de las funciones, permite la atribución de funciones a los rasgos mal adaptados. Tomemos el ejemplo del pelo de un oso polar en un zoológico de clima cálido, en donde, la función de su pelo debería ser, en ese caso también, protegerlo del frío (Munson 1972). También, permite esta teoría de las funciones, que los músculos de las alas de las aves tengan la función de permitirles el vuelo, incluso en aquellas pequeñas aves que viven en las islas tormentosas, donde el vuelo es perjudicial para su supervivencia (Hinde 1975).

La teoría sistémica, también permite la atribución funcional – contrariamente a la aproximación etiológica-, a los rasgos que en la actualidad no varían en la población (Hinde 1975), y a rasgos funcionales de los supuestos organismos hipotéticos, que no tienen un historial evolutivo (Boorse 1976; Enç 1979).

Asimismo, esta teoría atribuye funciones a las partes, y los comportamientos de los organismos estériles, como las mulas (Schaffner 1993).

Por último, y contrario a la teoría etiológica, la aproximación sistémica, sí atribuye funcionalidad a ciertos rasgos que no son seleccionados, como el citado anteriormente patrón de coloración de las alas de ciertas polillas, pues otro patrón es el seleccionado por conferir mayor aptitud relativa, debido a que camufla mejor (Wouters 2003a).

Veremos más adelante, que la teoría sistémica de las funciones, es una noción que se presenta, como un término central, en varias áreas de las ciencias biológicas.

Para terminar la presentación de esta aproximación a las funciones, tengo que referir las objeciones, o problemas más importantes que tiene esta teoría.

La propuesta sistémica confronta algunos problemas, al momento de adscribir funcionalidad. La mayor objeción, es que esta propuesta carece de un adecuado criterio de normatividad.

Efectivamente, parece cierto suponer que una función es algo que un elemento (parte, compuesto, órgano, etc.), se supone que **debe hacer**. Más aún, dicho elemento (parte, compuesto, órgano, etc.), **tendría esa función**, incluso en el caso de no hacer lo que se supone que debe hacer. En estas circunstancias, se diría que el elemento (parte, compuesto, órgano, etc.), presenta un mal funcionamiento.

Tomemos el caso de un corazón, por ejemplo, cuya función es bombear la sangre, y en el caso que no lo hiciera, estaríamos, con razón, señalando que está funcionando mal.

Además, la función de un elemento (parte, compuesto, órgano, etc.), parece establecer una norma para lo que es funcionar adecuadamente, y para lo que se considera como lo mejor y lo peor.

Si un corazón estuviera bombeando la sangre, pero lo hiciera tan lentamente en el organismo que lo contiene, tal que no proporcionaría a sus órganos internos los niveles suficientes de oxígeno, entonces, estaríamos diciendo que dicho corazón no está realizando su función adecuadamente, que en alguna parte de dicho corazón hay una falla que se tiene que detectar (Wouters 2005).

En vistas de esto, se ha puntualizado que el problema de la normatividad, estaría asociado con la diferencia que existe entre aquello *'que tiene una función'* y aquello *'que lleva a cabo una función'*. Así, se revela como muy importante, que una adecuada teoría de las funciones tenga la capacidad de explicar cómo tales normas biológicas pueden llegar a surgir en un mundo físico (Millikan 1984; Neander 1991).

De hecho, estos investigadores sostienen que la agenda para una teoría normativa de las funciones, tiene que ver con entender el diseño, y esto es algo que las teorías sistémicas no pueden explicar.

Así, la selección natural sería la única posible explicación naturalista de las normas biológicas. De modo tal, que así podemos entender que estas normas biológicas, tengan que ver con el desempeño que debe estar en concordancia con las especificaciones del diseño.

Es decir, que el aspecto normativo de las funciones está indisolublemente conectado con aquello que *'tiene una función'*.

Muestra de ello es que, normalmente, los biólogos dicen que un elemento (parte, compuesto, órgano, etc.) tiene una función, a pesar que de que están conscientes de la existencia de casos individuales, en donde ese elemento (parte, compuesto, órgano, etc.) no realiza, no hace dicha función.

En consecuencia, consideran que esta intuición en los biólogos, es una suerte de evidencia de que una función no es algo que un elemento de hecho hace, sino más bien, que una función es algo que se supone que debe hacer, o que está diseñado para hacer.

Por ello afirman, que el 'llevar a cabo una función', es dependiente de el 'tener una función' (Millikan1984, pp. 17-19; Neander 1991, p. 180).

Otra objeción que confronta esta aproximación a las funciones, es que parece posible adscribir funcionalidad a las partes de un sistema que, a todas luces, no posee partes que cumplan función alguna. Se ha argumentado que de las propuestas de Cummins, se podría derivar que es la 'función' de las neblinas crear el arco iris (Bigelow & Pargetter 1987), o de las rocas en un río, la ampliación del delta (Griffiths 1993).

Sin embargo, fue Craver (2001) quien se hubo de encargar de despejar completamente las acusaciones -algo 'extravagantes'-, que he referido en el párrafo anterior. En su aproximación, las atribuciones funcionales describen cómo es que un elemento participa en la actividad de un mecanismo:

“...Las atribuciones del papel mecanicista de las funciones, describen a un elemento en términos de las propiedades o actividades en virtud de las cuales contribuye al accionar de un...mecanismo, y en términos de la organización mecanicista por medio de la cual hace esa contribución...”<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> “...Attributions of mechanistic role functions describe an item in terms of the properties or activities by virtue of which it contributes to the working of a...mechanism, and in terms of the mechanistic organization by which it makes that contribution...” (Craver 2001, p. 61).

Afirma que hablando en términos generales, los mecanismos son sistemas complejos que se organizan de tal manera que producen una actividad regular. En donde, el término 'organizado', se refiere a las características concretas y reales del sistema, y no a la manera en la que fue producido:

"...Esta visión sobre la conexión entre las adscripciones de roles, y la organización mecanicista, se pierde si es que uno abstrae el papel de las funciones lejos de los detalles de cómo las funciones se instancian en los mecanismos... la significación y la precisión de la adscripción de un rol a un elemento, debe ser evaluada con referencia a la precisión con la cual se puede detallar la organización del sistema que contiene al elemento..."<sup>8</sup>

Me parece importante puntualizar, que el descubrimiento del papel mecanicista de un elemento, es considerado un logro científico de primera línea:

"...las atribuciones del papel mecanicista de las funciones, son detalladas y precisas, en la medida en que puedan ser explicadas en términos de detallar

---

<sup>8</sup> "...This insight about the connection between role ascriptions and mechanistic organization is lost if one abstracts role functions away from the details of how functions are instantiated in mechanisms... the meaningfulness and precision of an item's role ascription should be evaluated with reference to the precision with which one can detail the organization of the system containing the item..." (Craver 2001, pp. 61-62).

específicamente cómo un elemento encaja en la organización activa, espacial y temporal de un mecanismo que tratamos de entender...Es porque se detalla cómo un elemento encaja en la organización espacial, temporal y activa de un mecanismo... que uno especifica su papel mecanicista...”<sup>9</sup>

Además, Craver nos precisa que un mecanismo estaría organizado para una actividad en particular, si observáramos que el desempeño de esa actividad depende, críticamente, del arreglo jerárquico y espacial de las partes del mecanismo, en conjunción, con el orden y sincronización de sus actividades:

“...Las variedades espaciales, temporales y de actividad de la organización mecanicista, a menudo son utilizadas para determinar si un elemento puede, o no puede, desempeñar un papel determinado. El elemento tiene que estar en el lugar correcto, en el momento adecuado, no puede estar espacialmente aislado de los otros componentes, y tiene que tener el tamaño adecuado, la forma, la orientación (y otras propiedades pertinentes), para interactuar con los otros componentes del mecanismo. Una actividad que ocurre

---

<sup>9</sup> “...ascriptions of mechanistic role functions are detailed and precise to the extent that they can be explicated in terms of specific details of how an item fits into the active, spatial, and temporal organization of a mechanism that we seek to understand... It is by detailing how an item fits into the spatial, temporal, and active organization of a mechanism... that one specifies its mechanistic role...” (Craver 2001, p. 62).



en el momento equivocado, que lleva demasiado tiempo, o que se desarrolla con demasiada lentitud para un determinado rol, no puede cumplir con ese rol..."<sup>10</sup>

Tomemos el caso de la circulación de la sangre, en donde observamos la presencia de arterias y de venas. Y fundamentalmente, la presencia del corazón en un determinado lugar del organismo, interactuando en precisos momentos con la vena cava, la arteria pulmonar, la vena pulmonar y la aorta.

Pues el bombear la sangre, depende de la precisa interacción espacio-temporal con los componentes del sistema circulatorio que acabo de mencionar en el párrafo anterior, en conjunción, con la adecuada organización de su estructura interna.

Así, observando los mecanismos de dilatación y contracción del corazón, nos damos cuenta que los latidos son un producto de la ejecución de una parte del intrincado y coordinado conjunto de mecanismos que involucra el bombeo de la sangre.

Tal que, si hubiera una descoordinación entre la sístole auricular y la sístole ventricular, y una de las válvulas (bicúspide, tricúspide o sigmoidea), no se ajustara al cierre en el tiempo adecuado, observaríamos graves problemas circulatorios y efectos nocivos en otros sistemas, pues ese rol no habría sido cumplido cabalmente.

---

<sup>10</sup> "...The active, spatial, and temporal varieties of mechanistic organization are often used to determine whether or not an item can play a given role. The item has to be in the right place at the right time, it cannot be spatially isolated from other components, and it has to have the right size, shape, orientation (and other relevant properties) to interact with the other components of the mechanism. An activity that happens at the wrong time, that takes too long, or that unfolds too slowly for a given role cannot fill that role..." (Craver 2001, p. 62).

### **3.4 Usos del concepto de función en biología**

Se puede apreciar, que tanto la aproximación etiológica, como la aproximación sistémica, tienen puntos a favor y también ciertos problemas a la hora de sopesarlos con una serie de requisitos que, se supone, una adecuada teoría de las funciones debería cumplir.

El panorama es en realidad más espinoso, intrincado y variado, pues tengo que declarar que no me he dedicado a exponer a las diferentes variantes de estas dos grandes propuestas (Wouters 2003, 2005; Perlman 2009). Ni tampoco, he incidido en la adscripción funcional aplicada a otros dominios como, por ejemplo, su aplicación al caso tecnológico (Vermaas & Houkes 2003).

En consecuencia, esto plantea la cuestión de si una de estas teorías tendría visos de ser cierta, de poderse esgrimir argumentos para mostrarla como la única adecuada. Otra alternativa viable, sería desarrollar una nueva teoría unificadora, que evitara los problemas de las teorías existentes (Longy 2009; Vermaas 2009).

Una tercera alternativa, es la que vamos a desarrollar en este subcapítulo. A saber, explorar los usos que los investigadores de las ciencias biológicas, hacen del término función.

Una vez que primariamente en este subcapítulo, me haya dedicado a presentar y describir los diferentes usos que pueden detectarse en las investigaciones biológicas, trataré de realizar un balance de estas propuestas, con el fin último de establecer una suerte de arqueología funcional hipotética, en el subcapítulo final.

Es decir, propondré cuál pudo haber sido el mecanismo más primigenio, o más originario de función biológica.

Según Wouters (2003a), hay al menos cuatro formas diferentes, en que el término función aparece en los estudios sobre los organismos vivos:

“...(1) función como...actividad de, (2) función como papel biológico, (3) función como ventaja biológica, y (4) función como efecto seleccionado ...”<sup>11</sup>

La primera caracterización, la función como actividad, se refiere a lo que un organismo, una parte, un órgano o sustancia, hace o es capaz de hacer por sí mismo.

La segunda de estas caracterizaciones, la función como papel biológico, se refiere a la forma en que un elemento o actividad, contribuye a una actividad compleja o capacidad de un organismo.

En su tercer uso, la función como ventaja biológica, lo funcional se refiere a las ventajas que resultan para un organismo, el que esté presente un determinado rasgo, o el que un comportamiento tenga un cierto carácter.

Finalmente, en la función como efecto seleccionado, serían funcionales los efectos por los cuales se seleccionó un rasgo determinado en el pasado, lo cual explica su presencia actual en la población.

---

<sup>11</sup> “...(1) function as...activity, (2) function as biological role, (3) function as biological advantage, and (4) function as selected effect...” (Wouters 2003a, p. 633).

Además, estas caracterizaciones pueden ser vistas, como respondiendo a diferentes clases de preguntas.

En efecto, la función como actividad, respondería a la pregunta ¿qué es lo que hace? La función como papel biológico, respondería a la pregunta ¿cómo es que se usa?

La función como ventaja biológica, respondería a la pregunta ¿cómo es útil? Por último, la función como efecto seleccionado, respondería a la pregunta ¿por qué efecto fue que se seleccionó en el pasado? (Wouters 2003a, p. 636).

Así, el uso del término función en su primera caracterización, se utiliza cuando de lo que se trata es de describir lo que algo hace, o es capaz de hacer.

Por ejemplo, es función del corazón, la contracción rítmica que tiene. Y los cambios que observamos en ese ritmo, tanto en el estado de descanso, como en el estado de actividad física, son características de dicha función.

Sin embargo, aspectos, tales como, el tamaño que tiene, su color, la consistencia que presenta, no corresponden a alguna función que tenga el corazón. Más bien, son aspectos que están asociados a la forma y composición que tiene el corazón.

Este tipo de enunciación funcional, describe una actividad observable y medible.

Tales enunciaciones pueden ser cualitativas, por ejemplo, 'el corazón late'. Como cuantitativas, por ejemplo, 'el ritmo cardíaco de los seres humanos normales en reposo es de unos 70 latidos por

minuto, pero hay muchas variaciones individuales' (Keeton & Gould 1993).

Un contraste más detallado y ejemplificador, entre los parámetros de 'estructura' (forma), y los parámetros de 'acción' (función), lo encontramos en Zweers:

“...Hay dos categorías de parámetros, que se han utilizado en la morfología funcional, para describir el objeto investigado. Estas categorías, son los parámetros de la estructura y los parámetros de acción. Los parámetros de la estructura, son la distancia, posición, tamaño, forma, dureza, volumen, masa, peso, color, etc. Los parámetros de acción y sus derivados, forman una larga serie: movimiento, velocidad, aceleración, vibración, fuerza, impulso, trabajo, potencia, la energía potencial y cinética, la fricción, la elasticidad, la viscosidad, esfuerzo, deformación, resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, resistencia al impacto, los parámetros de calor, la conductividad, la actividad eléctrica y otros parámetros eléctricos, el sonido, etc...”<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> There are two categories of parameters which have been used in functional morphology to describe the investigated object. These categories are the structure parameters and the action parameters. The structure parameters are distance, position, size, shape, hardness, volume, mass, weight, color, etc. The action parameters and their derivatives form a long series: movement, velocity, acceleration, vibration, force, momentum, work, power, potential and kinetic energy, friction, elasticity, viscosity, stress, strain, tensile strength, compressive strength, impact strength, heat parameters, conductivity, electric activity other electric parameters, sound, etc. (Zweers, 1979, p. 423).

El segundo caso de atribución funcional, de roles o papeles biológicos, describe de qué manera un determinado elemento o actividad, contribuye a la aparición de una capacidad compleja que posee un organismo.

Por 'capacidad compleja', se entiende a una capacidad que no es meramente el resultado de la suma de las propiedades de sus partes, sino el resultado de la forma en que las partes y sus actividades se organizan. De este modo, las más importantes capacidades complejas a nivel del organismo, son las capacidades del organismo para mantenerse, crecer, desarrollarse y producir descendencia (Wimsatt 1997; Craver 2001).

Es decir, la atribución de un papel biológico sitúa a un elemento o actividad, en relación con la forma en que se organiza la ejecución de una tarea compleja, en un organismo determinado.

Es preciso mencionar, que la forma de explicación mecanicista o analítica, es central en una gran parte de las ciencias biológicas. Y resulta, que la atribución funcional de roles o papeles biológicos, está estrechamente relacionada con esta forma de explicación (Cummins 1975; Bechtel & Richardson 1993; Craver 2001).

Por ejemplo, se sabe que uno de los principales roles funcionales del sistema circulatorio en los vertebrados, es el transporte de gases (como el oxígeno y el dióxido de carbono), nutrientes diversos y el calor. La capacidad para realizar esta tarea, es el resultado de la acción coordinada de las partes de ese sistema: como el corazón, los vasos sanguíneos, la sangre, entre otros.

Es importante señalar, que cada uno de estos componentes, tiene roles funcionales muy específicos, que permiten, en conjunto, lograr esa capacidad. Así, el corazón bombea la sangre por todo el cuerpo, la sangre lleva los gases, los nutrientes y el calor. A su vez, los vasos sanguíneos, contienen y dirigen la sangre por todo el organismo (Wouters 2003a, p. 639).

En el tercer sentido de las atribuciones funcionales, estamos hablando de la función como ventaja biológica.

En esta acepción, las funciones de un rasgo, son las habilidades que resultan de ese rasgo, debido a que los organismos que la poseen, tienen más posibilidades de vida que los organismos similares que carecen de ella, o en los que este rasgo es reemplazado por otro.

Podemos apreciar que en esta acepción de función, se hace presente una comparación entre el rasgo que brinda una ventaja biológica (un valor biológico positivo), y otros rasgos que no ofrecen dicha ventaja o valor biológico.

Efectivamente, también se utiliza el término función en las investigaciones en biología, para referirse a las ventajas selectivas de un rasgo determinado en comparación con otro rasgo. El estudio del valor para la supervivencia, tiene como objetivo descubrir por qué es útil que un determinado producto o comportamiento esté presente (o ausente). Además, también nos permite descubrir por qué es útil para ciertos organismos, que un determinado producto, o comportamiento tenga un cierto carácter (Wouters 2003a, p. 643).

Las apelaciones de un valor de supervivencia, son esencialmente comparativas, es decir, la presencia de un determinado elemento o patrón de comportamiento, así como, el carácter de dicho elemento o comportamiento, tienen un valor de supervivencia en comparación con su ausencia o la presencia, en su lugar, de otro rasgo.

Por ejemplo, es un fenómeno muy extendido entre los mamíferos, entre los insectos, los arácnidos y los pájaros, reunirse en grupos para descansar (Eiserer 1984; Lewis 1995; Grether & Donaldson 2007).

Cuestionando la explicación mayoritaria de aquel entonces, a saber, que el origen evolutivo de este fenómeno de reunión comunal, era únicamente la protección contra los predadores, Ward and Zahavi (1973) elaboraron el argumento conocido en la actualidad, como la 'hipótesis del centro de información' (information centre hypothesis -ICH).

Dicha hipótesis, postula que esta reunión comunal, podría actuar como centros de información. En donde, los individuos participarían activamente en advertir, y compartir información con los otros miembros del grupo sobre la localización de alimento.

En la actualidad, se observa que la hipótesis en cuestión ha sido sujeta a controversia. Particularmente, en lo referente a que el origen evolutivo de reunirse en grupos, fuera primariamente el beneficio de compartir información.

Sin embargo, una investigación reciente focaliza su estudio en un modelo conceptual, que permitiría predicciones contrastables:



“...En este trabajo, nos centraremos en el mecanismo del centro de información de los dormideros comunales, y los beneficios que los individuos podrían obtener de la información. La información es definida como “cualquier cosa que reduce la incertidumbre, y cambia el estado del receptor de una manera potencialmente funcional”...”<sup>13</sup>

Así, los resultados de esta investigación permitirían vislumbrar que además de la información por la ubicación de alimento, existirían otras clases de información social, que estarían disponibles para beneficio de los individuos de esta agrupación comunal, como localización de predadores, compañeros de viaje, parejas potenciales, entre otros (Bijleveld et al. 2010, p. 283).

Se puede observar que la ventaja funcional de formar parte de estas agrupaciones comunales, les brinda a cada uno de los integrantes de estas agrupaciones una ventaja biológica, en distintos aspectos, comparados con el hecho de permanecer en estados aislados.

Finalizando la presentación de estos cuatro tipos de adscripción funcional, nos resta la presentación de la cuarta forma, la función como efecto seleccionado.

---

<sup>13</sup> “...In this contribution we will focus on the information centre mechanism of communal roosting and the information benefits individuals could gain. Information is defined as “anything that reduces uncertainty and changes the state of the receiver in a potentially functional manner”...” (Bijleveld et al. 2010, p. 278).

Las funciones como efecto seleccionado, se rebelan por su papel en la historia evolutiva de la característica que tiene esa función. La atribución funcional de un efecto seleccionado, es una afirmación sobre la historia evolutiva de ese rasgo.

Las atribuciones de los efectos seleccionados, nos mencionan lo que ha sido importante en la evolución de la característica, a la cual se le atribuye la función. Así, los efectos seleccionados, son los efectos pasados que eran, como una cuestión de hecho, causalmente eficaces en la evolución, o el mantenimiento de la característica que tiene la función (Wouters 2003a).

Quien primeramente desarrolló esta noción de función, fue el biólogo evolucionista Williams (1966). Cabe mencionar, que aún cuando esta noción de función se ha convertido en la noción dominante de la función entre los filósofos, ha tenido escasa aceptación entre la comunidad de biólogos.

No está demás mencionar, que en el corazón de las teorías etiológicas de la función, se observa una gran similitud con las propuestas de Williams:

“...La designación de algo, como el medio o mecanismo para un determinado objetivo, o función, o propósito, implicará que la maquinaria involucrada fue modelada por la selección, para el objetivo que se le atribuye...”<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> “...The designation of something as the means or mechanism for a certain goal or function or purpose will imply that the machinery involved was fashioned by selection for the goal attributed to it...” (Williams, 1966, p. 9).

### **3.5 La teoría organizacional de las funciones**

Después de haber presentado brevemente a las dos grandes clases de aproximación filosófica a las funciones, hemos seguido con una descripción esquemática de cuatro modos distintos de uso de la noción de función, en las disciplinas biológicas.

El diseño de este tercer capítulo, ha tenido por objeto presentar el debate de las funciones en el campo de la filosofía, así como, sus usos más significativos en las ciencias biológicas.

Para que, de manera tal, que se viera con claridad que hace falta tratar de establecer puentes de comunicación, entre lo que se argumenta como aspectos centrales en los debates filosóficos sobre las funciones, y las clases de razonamientos que se encuentran presentes, cuando los biólogos están hablando de una explicación funcional.

La teoría organizacional de las funciones, me parece un buen primer paso en esta dirección. Por ello, es que la estudiaré también muy esquemáticamente en este subcapítulo, como antesala a la propuesta de mi trabajo de tesis sobre las funciones prebióticas.

Resulta, que mi propuesta sobre las funciones -que se deriva, naturalmente, de mi modelo de sistema prebiótico-, la considero como un paso más y adicional en esta búsqueda, de una aproximación que pueda combinar las fundamentaciones filosóficas sobre las funciones, con las prácticas de los científicos, al momento de elaborar explicaciones funcionales, que se generan a partir de los resultados de sus investigaciones.

La aproximación organizacional sobre las funciones biológicas, se ubica en la noción de que la perspectiva etiológica y la perspectiva sistémica, se pueden integrar en un marco conceptual único. Esta relativamente nueva aproximación a las funciones, sigue la tradición de quienes señalaron que existe, de hecho, un concepto único de función, en el que las formulaciones etiológica y sistémica pueden incluirse como casos especiales (Kitcher 1993; Walsh 1996; Walsh & Ariew 1996).

Un aspecto importante que señalan, es que existe una relación entre atribución funcional, causa y organización:

"... En particular, vamos a interpretar las funciones como las relaciones causales presentes en la organización de los sistemas biológicos, las cuales, al mismo tiempo (1) explican la existencia del portador de la función y (2) constituyen las relaciones entre medios y fines, que contribuyen a una cierta capacidad distintiva del sistema actual que está siendo analizado. La esencia del argumento será que las funciones están intrínsecamente relacionadas, con la idea de *una cerrada y diferenciada organización que se mantiene por sí misma...*"<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> "...In particular, we will interpret functions as causal relationships at work in the organization of biological systems, which at the same time (1) explain the existence of the function bearer and (2) constitute means-end relationships contributing to some distinctive capacity of the current system being analyzed. The gist of the argument will be that functions are inherently related to the idea of *a closed and differentiated self -maintaining organization...*" (Mossio et al. 2009, p. 815, cursivas en el original).

Aún cuando, los intentos de atribuciones funcionales apelando a la organización del sistema, no son realmente nuevos, lo que sí llama la atención de esta propuesta, es su recurso al auto-mantenimiento del sistema. Siendo más específicos, la aproximación organizacional ha sido tomada tanto para elaborar reivindicaciones de las teorías sistémicas (Christensen & Bickhard 2002), o como una tercera alternativa en este debate, que sería capaz de unificar las dos grandes definiciones en una propuesta que las abarque (McLaughlin, 2001).

Y esta noción de auto-mantenimiento, les lleva a proponer que las funciones solamente tendrían sentido, en el tipo característico de organización fisicoquímica que poseen los sistemas biológicos:

“...una aproximación organizacional (AO)... que se basa en un marco científico y conceptual, desarrollado durante los últimos 40 años en los ámbitos de la biología teórica, la teoría de los sistemas complejos, y la termodinámica lejos del equilibrio, lo que proporciona una comprensión de la organización constitutiva de los sistemas biológicos, en términos del auto-mantenimiento...”<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> “...an organizational account (OA)...relies on a scientific and conceptual framework, developed during the last 40 years in the domains of theoretical biology, complex systems theory, and far-from-equilibrium thermodynamics, which provides an understanding of the constitutive organization of biological systems in terms of self-maintenance...” (Mossio et al. 2009, p. 822).

Por supuesto, existen muchos tipos de sistemas que se auto-mantienen, cuyos distintos tipos, exhiben distintos grados de complejidad.

De manera tal, que nos afirman que la aproximación organizacional se basa en el entendimiento de que los sistemas biológicos son ejemplos altamente complejos, y sofisticados de los sistemas naturales que se auto-mantienen. Según los autores, la mínima expresión de un sistema que se auto-mantiene (que se mantiene por sí solo), serían las 'estructuras disipativas' pues:

“...un gran número de elementos microscópicos adoptan un patrón global, macroscópico, ordenado (una 'estructura'), en presencia de un flujo específico de energía y materia, en condiciones lejos del equilibrio termodinámico (LET)...En la medida en que hagan una contribución activa al mantenimiento de las condiciones LET, necesarias para su propia existencia, las estructuras disipativas se pueden describir como sistemas que se mantienen por sí solos...”<sup>17</sup>

La cita de la página anterior, junto con la cita de esta página, me hacen pensar que los autores de la propuesta organizacional de las funciones, han desarrollado equivalencias y clasificaciones que

---

<sup>17</sup> “...a huge number of microscopic elements adopt a global, macroscopic ordered pattern (a 'structure') in the presence of a specific flow of energy and matter in far-from-thermodynamic equilibrium (FFE) conditions...Insofar as they make an active contribution to maintaining the FFE conditions required for their own existence, dissipative structures can be described as self-maintaining systems...” (Mossio et al. 2009, p. 823).

disimuladamente, aunque parezcan tener poco impacto, soslayan aspectos importantes en esta temática. De tal manera, que en la elaboración de sus argumentos, se arriba a la noción de auto-mantenimiento, sin poner la debida atención a aquello de lo cual esta noción es una componente, un aspecto derivado.

Y, han cometido fallos de interpretación en lo referente a la significación de las llamadas 'estructuras disipativas', para la termodinámica lejos del equilibrio, y las disciplinas vinculadas con esta gran área de la termodinámica.

En la termodinámica de no-equilibrio, una estructura disipativa es un estado organizado de materia en no-equilibrio, creado y mantenido por los procesos disipativos (Kondepudi & Prigogine 1998). Es decir, esta organización en no-equilibrio, es un orden generado espontáneamente, mediante el intercambio de energía con su ambiente externo.

Y ello se da, pues existen los procesos disipativos. En donde, 'disipativo', se refiere al proceso de pérdida de energía mecánica o energía en general. El intercambio de energía con su ambiente externo, hace que el sistema termodinámico que es 'disipativo', convierta la energía útil (que proviene del medio ambiente), en formas no recuperables de trabajo.

Son los procesos disipativos, los que forman y mantienen una organización dinámica, que se caracteriza por la aparición espontánea de rupturas de simetría (anisotropía), y la formación de complejas, a veces caóticas, estructuras, en donde las partículas que interactúan, presentan correlaciones de largo alcance.

Veamos, lo que plantea Prigogine:

“...En todos estos fenómenos, un nuevo mecanismo de ordenación... aparece...nos referiremos a este principio, como el *orden a través de fluctuaciones*. Las estructuras son creadas por el flujo continuo de energía y materia que provienen del mundo exterior, su mantenimiento requiere de una distancia crítica del equilibrio, es decir, un nivel mínimo de disipación. Por todas estas razones, las hemos llamado estructuras disipativas...”<sup>18</sup>

Además, Prigogine sostenía que las estructuras disipativas no sólo **se mantienen, por ellas mismas (se ‘auto-mantienen’)**, en un estado estable lejos del equilibrio, sino que incluso pueden evolucionar:

“...Las estructuras disipativas, no sólo se mantienen a sí mismas en un estado estable lejos del equilibrio, sino que incluso pueden evolucionar. Cuando el flujo de energía y materia a través de ellas aumenta, pueden ir a través de nuevas inestabilidades y transformarse, a sí

---

<sup>18</sup> “...In all these phenomena, a new ordering mechanism...appears...we shall refer to this principle as order through fluctuations. The structures are created by the continuous flow of energy and matter from the outside world; their maintenance requires a critical distance from equilibrium, that is, a minimum level of dissipation. For all these reasons we have called them dissipative structures...” (Prigogine et al 1972, p. 25).



mismas, hacia nuevas estructuras de creciente complejidad...”<sup>19</sup>

Es decir, las estructuras disipativas no sólo se auto-mantienen en estados estables alejadas del equilibrio termodinámico, sino que de modo sorprendente, son capaces de re-organizarse hacia estructuras dinámicas de mayor complejidad.

En este sentido, las estructuras disipativas exhiben la propiedad fundamental de la auto-organización, y son una de las clases más importantes de los fenómenos naturales:

“... Prigogine y su grupo, han hecho importantes contribuciones a la biología teórica, estableciendo el concepto de que las estructuras en la naturaleza, pueden dividirse en dos clases distintas: *de equilibrio* y las *estructuras disipativas*, y los organismos son ejemplos de estas últimas...”<sup>20</sup>

Así, resulta ser que las estructuras disipativas engloban, como uno de sus ejemplos más complejos, a los sistemas vivos. Y no sólo eso, resulta que las estructuras de la naturaleza se dividen en solamente

---

<sup>19</sup> “[D]issipative structures not only maintain themselves in a stable state far- from- equilibrium, but may even evolve. When the flow of energy and matter through them increases, they may go through new instabilities and transform themselves into new structures of increased complexity...” (Capra 1986, p. 89).

<sup>20</sup> “...Prigogine and his group have made important contributions to theoretical biology by establishing the concept that structures in nature can be divided into two distinct classes – *equilibrium* and *dissipative structures* and that organisms are examples of the latter...” (Sungchul 2012, p. 72. Cursivas en el texto original).

dos clases: las estructuras de/en equilibrio, o las estructuras disipativas.

Sin duda, este sobredimensionar el aspecto del auto-mantenimiento pasa por alto aspectos más fundamentales de los sistemas vivos, tales como, la explicación de aquello que provoca la auto-organización (y por ende el auto-mantenimiento), en condiciones de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Además, los autores consideran que al haber un sistema que se auto-mantiene y que es cerrado, las funciones en una perspectiva organizacional aparecen:

"... Un rasgo tipo **T**, tiene una función si y sólo si está sujeto a una clausura organizacional **C**, en un sistema diferenciado que se mantiene por sí solo **S**.... Esta definición implica el cumplimiento de tres condiciones diferentes. Por consiguiente, un rasgo **T** tiene una función si y sólo si: **C<sub>1</sub>**: **T** contribuye al mantenimiento de la organización **O** de **S**; **C<sub>2</sub>**: **T** se produce y se mantiene de acuerdo con algunas constricciones ejercidas por **O**; **C<sub>3</sub>**: **S** es organizativamente diferenciado..."<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> "...a trait type **T** has a function if, and only if, it is subject to organizational closure **C** in a differentiated self-maintaining system **S**....This definition implies the fulfilment of three different conditions. Accordingly, a trait **T** has a function if and only if:  
**C<sub>1</sub>**: **T** contributes to the maintenance of the organization **O** of **S**;  
**C<sub>2</sub>**: **T** is produced and maintained under some constraints exerted by **O**;  
**C<sub>3</sub>**: **S** is organizationally differentiated..." (Mossio et al. 2009, p. 828).

Así, los autores reclaman que esta definición de función, es sugestiva e innovadora. Más aún, en las conclusiones de su trabajo afirman lo siguiente:

“...esta aproximación justifica la fundamentación de las dimensiones teleológicas y normativas de las funciones en la organización actual del sistema, ya que proporciona una explicación para la existencia del portador de la función y, al mismo tiempo, identifica en una manera no arbitraria las normas que las funciones se supone que deben obedecer. En consecuencia, hemos sugerido que la Aproximación Organizacional, puede combinar la perspectiva etiológica y la perspectiva disposicional en un marco teórico integrado... Nuestra aproximación, puede representar una mejora sustancial filosófica, respecto de anteriores enfoques similares, en dos aspectos. En primer lugar, articula una descripción de grano fino de sus conceptos centrales, y una definición explícita de las funciones biológicas, lo que impone unas condiciones precisas sobre las atribuciones funcionales. En segundo lugar, explica -al menos en forma preliminar-, las principales implicaciones de la idea central, con respecto a varios

temas con los que se supone que una teoría de las funciones hace frente...”<sup>22</sup>

Pasemos una breve revisión de sus reclamos más significativos, acerca de la supuesta unificación que logran, y en los aspectos centrales de esta teoría, que suponen hace frente adecuadamente a los temas centrales de una aproximación a las funciones.

Para ello, me serviré de un estudio crítico que aborda, precisamente, esta propuesta organizacional de las funciones, pues considero que sus reparos son completamente justificados, y los argumentos que desarrolla, son suficientes (Artiga 2011).

Si realmente, la propuesta organizacional ha logrado una feliz conjunción de tanto la aproximación etiológica, y la aproximación disposicional (también conocida, como la aproximación sistémica, que es la denominación que he usado, y seguiré utilizando), entonces, han logrado construir una teoría unificada.

Se sabe, que las características más importantes de una definición de función, debieran de dar cuenta tanto de la dimensión teleológica, como de la dimensión normativa. Veremos si es correcto que han arribado a dicho logro.

---

<sup>22</sup> “...this account justifies the grounding of the teleological and normative dimensions of functions in the current organization of the system, in that it provides an explanation for the existence of the function bearer and, at the same time, identifies in a non-arbitrary way the norms that functions are supposed to obey. Accordingly, we have suggested that the OA may combine the etiological and dispositional perspectives in an integrated theoretical framework...Our account may represent a substantial philosophical improvement on previous similar approaches in two aspects. First, it articulates a fine-grained description of its central concepts and an explicit definition of biological functions, thereby placing precise constraints on functional attributions. Second, it spells out—at least in a preliminary way—the major implications of the central idea with respect to several issues with which a theory of function is supposed to deal...” (Mossio et al. 2009, pp. 836-837).

Además, dicha teoría unificada, debería poder solucionar el problema etiológico sobre el epifenomenalismo, y establecer la distinción entre lo que es una función de un rasgo, de los efectos accidentales que produce dicho rasgo.

En la dimensión teleológica, la función de un rasgo juega un papel importante en la explicación de la existencia de ese rasgo. Recordemos que las teorías etiológicas apelan a la selección.

Como la selección opera sobre ciertos efectos, esto hace que tenga sentido preguntar por medio de cuales efectos un rasgo se ha mantenido en la población. Aunque el rasgo no se produjo *con el fin* de producir estos efectos, se ha mantenido porque tenía aquellos efectos. Y aquellos efectos pueden, por tanto, ser vistos como la razón por la cual ese rasgo está ahí, tanto como para qué es ese rasgo (Wouters 2005, pp. 128-130).

Es decir, en esta aproximación etiológica, son las actividades específicas del rasgo lo que explica su existencia. En el caso de la aproximación organizacional, se afirma que la dimensión teleológica se explica apelando a las condiciones C1 y C2, del esquema de tres condiciones con que adscriben la funcionalidad.

En otras palabras, es el desempeño **F** de **T**, lo que contribuye con el mantenimiento de la organización **O** de **S**; y es **O** quien produce y mantiene a **T**.

Según Artiga, la diferencia entre ambas aproximaciones pareciera ser muy pequeña. Sin embargo, esta diferencia es crucial. En la visión etiológica, es la específica actividad (efectos) del mismo rasgo, los que explican su existencia.

En cambio, en la aproximación organizacional, es el rasgo contribuyendo con la supervivencia del sistema, y es el sistema **tomado como un todo**, lo que explica la existencia del rasgo, entonces:

“...Supongamos que aceptamos que lo que explica que los oídos de alguien existen, es que contribuyen al mantenimiento del organismo, y que a su vez, el organismo continúa manteniéndolos...Si fuera ese el caso, cualquier parte del cuerpo que apoya al sistema, también podría explicar por qué las orejas están ahí...Este esquema, se aplica a cualquier cosa que ayuda a sobrevivir al sistema...todos tendrían el mismo estatus explicativo, relativo a la existencia de las orejas...En consecuencia, cualesquiera efectos positivos que los oídos tuvieron en el pasado, sólo tienen una pequeña relevancia explicativa en la justificación de su propia persistencia...”<sup>23</sup>

En efecto, además de que las condiciones C1 y C2 no están lógicamente vinculadas con C3 (en particular, decir que **S** es organizativamente diferenciado, no implica que **T** sea una de las

---

<sup>23</sup> “...Suppose we accept that what explains that someone’s ears exist is that they contribute to the maintenance of the organism and that in turn the organism keeps maintaining them... If that were the case, any part of the body that supports the system would also explain why the ears are there... This schema would apply to any thing that helps the system surviving... all would have the same explanatory status concerning the ear’s existence... Consequently, whatever positive effects ears had in the past only have a tiny explanatory relevance in accounting for its own persistence...” (Artiga 2011, p. 116).

partes en la cual **S** este diferenciado), se deslinda de la cita, que pareciera ser que la única manera de garantizar que la existencia de **T** se pueda explicar por el desempeño **F** de **T**, es reclamar que **F** era la razón por la que **T** fue seleccionado.

Sin embargo, la aproximación organizacional rechaza explícitamente, las teorías funcionales basadas en el efecto seleccionado.

Y ciertamente, la afirmación siguiente no parece correcta:

“...En este sentido, la clausura organizacional proporciona una base naturalizada para la dimensión teleológica: a la pregunta ‘¿Por qué X existe en esa clase de sistemas?’, es legítimo responder, ‘Porque hace Y’...”<sup>24</sup>

Definitivamente, como acabamos de señalar C1 y C2 no implican que el rasgo X esté ahí porque hace Y. Por tanto, la aproximación organizacional de las funciones es incapaz de explicar la teleología.

Siguiendo la argumentación de Artiga (201), se puede afirmar que la aproximación organizacional, tampoco puede dar cuenta del aspecto normativo de las funciones.

El problema se presenta, cuando tratan de establecer lo que significa que un rasgo sea disfuncional:

---

<sup>24</sup> “...In this sense, organizational closure provides a naturalized grounding for a teleological dimension: to a question ‘Why does X exist in that class of systems’, it is legitimate to answer ‘Because it does Y’...” (Mossio et al. 2009, p. 825).

“...Las disfunciones aparecen cada vez que un rasgo no desempeña adecuadamente su función principal y/o secundaria. Un rasgo disfuncional, es un rasgo que se adecua con C2 y C3, pero no cumple con C1...”<sup>25</sup>

Los criterios de la aproximación organizacional, establecen las condiciones para que un rasgo, *posea (tenga)*, una función, y no para que ese rasgo *realice (cumpla con)*, una función.

En consecuencia, debido a la definición de una función en la aproximación organizacional, se sigue que si un rasgo no cumple con C1, entonces, ese rasgo **no tiene** una función y, por tanto, no puede ser disfuncional.

De lo dicho hasta ahora, se sigue que esta aproximación a las funciones no es tan viable como claman sus autores, ni tampoco es una “mejora sustancial filosófica”, en las reflexiones sobre el tópico acerca de las funciones.

No quisiera extenderme en demasía, en una propuesta que parecía tener respuestas inusitadas a los aspectos teleológicos y normativos de una teoría sobre las funciones, cosa que hemos visto en las páginas anteriores no logran ni acercarse a brindar respuestas adecuadas a estas dimensiones de la función.

Antes de presentar mis propuestas acerca de las funciones biológicas, le indico al lector que explore los otros reparos que desarrolla Artiga (2011), pues resultan ser muy aleccionadores.

---

<sup>25</sup> “..Dysfunctions appear whenever a trait fails to adequately perform its primary and/or secondary function. A dysfunctional trait is a trait that fits C2 and C3, but fails to fit C1...” (Mossio et al. 2009, p. 833).



### **3.6 El origen de las funciones en la era prebiótica**

Después de haber desarrollado otras propuestas sobre las funciones, y haber expuesto los cuatro posibles tipos en que los investigadores en las ciencias biológicas usan el término de función, tengo que reafirmar lo que mencioné al principio de este capítulo sobre el origen de las funciones: mi interés principal es develar el tipo de funcionalidad que se desprende de mi modelo conceptual de sistema prebiótico.

Es decir, en este último subcapítulo, exploraré los aspectos que contiene la funcionalidad en los sistemas dinámicos informacionales.

Para empezar, afirmo que si mi modelo de sistema prebiótico es aquel que explica, naturalísticamente, que emergiera el mundo prebiótico, entonces, dado que la clase de auto-organización que posee es informacional y funcional, también explicaría el origen de las funciones.

En mi propuesta, es razonable postular que los compuestos químicos que se encontraban en la Tierra primitiva, podrían haber sido en su mayoría muy simples en su naturaleza, y que pudieron haber estado inmersos en la dinámica natural del mundo físico, y que algunos de los cuales pudieron haber involucrado a los procesos de auto-organización.

Es probable, que algunos de estos procesos moleculares se auto-organizaran de forma espontánea, en una jerarquía de comportamientos complejos.

Antes de la época prebiótica, sostengo que ninguna forma de funcionalidad pudo haber existido. Sin embargo, desde el momento en que esta dinámica de comportamientos complejos, produjo el tipo de auto-organización dinámica de mi sistema dinámico informacional, en ese mismo momento, las funciones **emergen por primera vez** en el universo. Por tanto, sostengo que el tipo de funcionalidad que desentrañaré en las páginas siguientes, es la primera forma de función, la más ancestral funcionalidad que surge de manera naturalista.

Lo que es más, mi primera propuesta, revela aspectos importantes de las funciones en su origen:

“...Es en los procesos y en las relaciones entre ellos... que a través del polo función...se observa que la contribución de los procesos entre sí, por su rendimiento adecuado en la lógica integral de la organización del sistema, hace que el sistema se mantenga, por sí mismo, lejos del equilibrio termodinámico. ...”<sup>26</sup>

En primer lugar, esta originaria forma de función prebiótica (y, por ende, función biológica), emerge en los procesos, y en la interrelación entre ellos.

---

<sup>26</sup> “...It is in the processes and the relationships among them...that through the function pole...we observe that the contribution of the processes among each other for their appropriate performance in the integral logic of the system’s organization causes the system to maintain itself far from thermodynamic equilibrium ...” (Riofrio 2007, p. 241).

En segundo lugar, esto se produce en el interior de una red integrada de procesos moleculares, en la medida, que esa red integrada de procesos se mantenga, por sí misma, en los estados de alejamiento del equilibrio.

En tercer lugar, el tipo de función biológica que defiende, es el efecto que realiza un determinado tipo de proceso, que *contribuye efectivamente*, en mantener al sistema en el estado que le da su razón de ser: el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Así, un proceso **P** tiene la función **F** en el sistema **S**, si y sólo si:

- (1) **P** es un tipo específico de proceso constitutivo, que es producido y mantenido, por un sistema dinámico **S** alejado del equilibrio termodinámico.
- (2) El sistema **S** permanece en el estado de alejamiento del equilibrio, por medio de un tipo de proceso constitutivo que es, al mismo tiempo, una restricción del sistema.
- (3) **F** es el efecto de **P** que contribuye efectivamente, a que **S** se mantenga en (o incremente el), estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

De esta caracterización, se pueden deslindar ciertos aspectos que constituyen al tipo de función, que se deriva lógicamente de mi modelo conceptual de sistema dinámico prebiótico.

Para empezar, un proceso molecular tiene efectos que lo pueden diferenciar de otros procesos moleculares. Por ende, el sistema dinámico prebiótico que postulo (y sus 'descendientes'), tiene un tipo

de auto-organización, que lo constituyen procesos moleculares muy diferenciados -pues cada uno realiza o cumple un rol específico dentro de la organización del sistema-.

Además, para que un proceso sea producido y mantenido por el sistema, tiene que ser un proceso constitutivo, es decir, que sea una parte que conforme sustantivamente a la organización del sistema, pues realiza una acción necesaria para la supervivencia de la protocélula.

Cada proceso funcional, es funcional pues además de realizar acciones concretas (un conjunto de procesos bioquímicos, bioenergéticos, etc.), su accionar contribuye positivamente en la red molecular de procesos a la que pertenece, pues aumenta o mantiene al sistema alejado del equilibrio termodinámico.

Y es precisamente, por ese accionar que contribuye al alejamiento del equilibrio termodinámico, por lo que fue incorporado como proceso constitutivo del sistema.

Siendo ese accionar (ese efecto), lo que corresponde a la función del proceso por lo que fue incorporado al interior del sistema (se convirtió en proceso constitutivo del sistema), entonces, es posible pensar que en algún momento (en algún sistema 'heredero' de los sistemas dinámicos informacionales), ese proceso tenga algunos fallos (presente malfuncionamiento), o tenga un mejor rendimiento (una mejora funcional).

Así, considero que la componente normativa, y la teleológica forman parte de la función prebiótica que acabo de esbozar.

## **Capítulo 4.**

### **Reflexiones sobre la Evolución Prebiótica**

En este capítulo final, nos dedicamos a estudiar el conjunto de características especiales que podrían tener las redes moleculares que constituyen a los sistemas vivos. En particular, nos abocamos a tratar de discernir el tipo de dinámica evolutiva que pudo haberse producido en la era prebiótica. Asimismo, ello nos permitirá brindar ciertas luces acerca de lo novedoso que se revela en el conjunto de aspectos que portan las computaciones naturales propias de los sistemas vivientes.

#### **4.1 *Introducción***

Es posible afirmar que las pasadas décadas han sido espectadoras de increíbles avances en nuestro entendimiento de los organismos vivos. Pero al mismo tiempo, la comprensión global de muchos fenómenos biológicos, tales como, la homeostasis celular en general y el mantenimiento de la integridad celular, o, la generación de un orden espacial y temporal -entre otros-, siguen siendo difíciles de alcanzar, nos siguen eludiendo.

Además, sabemos que en las últimas décadas hemos sido testigos de una vasta acumulación de datos biológicos y sus respectivos análisis. Sin embargo, estos grandes conjuntos de datos representan sólo una pequeña fracción del comportamiento de un sistema biológico. Entendemos ahora más que antes, que la complejidad de los sistemas vivos es tal que uno está obligado a atender, simultáneamente, a más de una escala de observación (Sadot et al. 2008; Salthe 1985, 2002).

Hoy en día, el creciente cuerpo de evidencia en genómica y en proteómica pone de relieve el hecho de que estamos también enfrentando -conjuntamente con su increíble complejidad-, el problema de una integración de esta gran cantidad de datos en un todo explicativo coherente (Fisher & Piterman 2010).

En consecuencia, uno de los grandes retos que encaramos hoy en día, es tratar de extraer de esta gran avalancha de observaciones un conjunto de principios generales que podamos llegar a discernir.

Al mismo tiempo, existe la tarea pendiente de empezar a formular algunos conceptos y métodos básicos, alrededor de los cuales se podría desarrollar una biología teórica.

Sostengo que una aproximación a todos estos temas y problemas, sería el de tratar de entender los mecanismos moleculares involucrados en las causas que condujeron a la aparición de los aspectos más destacados y centrales de los albores del diseño celular, los cuales podrían haberse producido en épocas prebióticas.

En otras palabras, una aproximación al origen de la vida podría lograrse a través del entendimiento de cómo simples estructuras moleculares dentro de procesos moleculares específicos, podrían producir la emergencia de un sistema celular -una protocélula-.

Así, afirmamos que la naturaleza de los fenómenos en tiempos prebióticos puede ser mejor entendida en el interior de un enfoque en donde los procesos de auto-ensamblaje y auto-organización son requisitos clave, para la producción de un sistema molecular autónomo que se auto-replica. En vez, de seguir brindándole gran importancia al comportamiento y dinámica de las macromoléculas tomadas aisladamente (Luisi et al. 2004; Rocheleau et al. 2007).

Tenemos que ser conscientes, que examinar e identificar la naturaleza exacta de los componentes bioquímicos en las células de los organismos no llega a ser suficiente, puesto que todavía se sabe muy poco acerca de cómo estos mismos componentes funcionan como un sistema, tanto a nivel celular y supra-celular (Cardelli 2005).

Por ejemplo, en la célula, todos los diferentes tipos de procesos estructurales y funcionales son transportados por la interacción

compleja de genes, proteínas y otras moléculas. Se me ocurre mencionar el caso del llamado “lenguaje de patrones”, en donde un conjunto básico de ‘módulos dinámicos de modelado’ (‘dynamical patterning modules’ o DPMs) juegan un papel muy importante en el origen, desarrollo y evolución de los organismos (Newman & Bhat 2008).

Y es por eso, que el enfoque de las redes complejas se ha convertido en un paradigma común y útil para el modelado, con el fin de comprender los procesos celulares (Boccaletti et al. 2009).

En efecto, un problema central en la biología de nuestros tiempos, es descubrir las causas que provocan la coordinación de las interacciones de los procesos moleculares, pues son las que estarían subyaciendo a la auto-organización, y mediarían en la generación del diseño celular.

En este sentido, las investigaciones sobre la evolución de los tres tipos modernos celulares, se encuentran entre los temas de mayor importancia de la biología actual (Woese 2002).

En este último capítulo de mi trabajo de investigación doctoral, tomaré en consideración las tesis más centrales a las que he arribado en los capítulos anteriores, y exploraré ciertas consecuencias que se podrían derivar de ellas para tratar de desarrollar una visión que englobaría los aspectos y características más importantes que pudo tener la evolución prebiótica en sus etapas más tempranas.

Para ello, voy a extraer algunas inferencias acerca de la emergencia espontánea del alborear del diseño celular teniendo en



cuenta, en primer lugar, los resultados de algunos estudios experimentales sobre la evolución microbiana. Y posteriormente, los resultados de las simulaciones que han examinado conceptos relacionados a las protocélulas prebióticas y la evolución del diseño celular.

#### ***4.2 Dinámica Molecular de la Evolución Microbiana***

Parece que un objetivo importante para la mejora de nuestros conocimientos sobre este tema interesante, pero intrincado, es determinar y distinguir las características, así como los comportamientos de las células primitivas y modernas (Woese 1998). Los biólogos han asumido tradicionalmente, que la transferencia horizontal de genes (HGT) sólo desempeña un pequeño papel en la evolución celular. Pero hay algunas investigaciones que no son compatibles con esta hipótesis, más bien, plantean un escenario totalmente opuesto:

“...La transferencia horizontal...puede responder por la diversidad de toda la biosfera, las moléculas y los sistemas que se han desarrollado en todo tipo de condiciones, en una gran variedad de diferentes ambientes celulares. Por lo tanto, la variación derivada horizontalmente es la principal, si no la única, fuente de la evolución de la verdadera innovación: nuevas vías

enzimáticas, nuevas capacidades del transporte de membrana, nuevas fuentes energéticas, etc...”<sup>1</sup>

También es posible argumentar, que las células modernas son entidades completamente evolucionadas, las cuales son descendientes de más antiguas y simples formas celulares. En donde, la transferencia horizontal de genes (HGT) dominaba por completo la escena evolutiva (Woese 2002, 2004). A partir de esta imagen de las fuerzas evolutivas, uno podría llegar a una consecuencia muy interesante y fructífera: el “Umbral de Darwin” (Darwinian Threshold) representa el origen de las especies:

“...En sus inicios, la evolución celular habría sido impulsada en su mayor parte por la transferencia horizontal de genes (HGT)... de aquí, vendría una etapa en la que la evolución de la organización celular, donde la huella genealógica de los organismos (registrada en las historias comunes de los genes de un organismo), pasa de ser completamente efímera a ser cada vez más permanente...Este punto en la evolución, esta transición, sería adecuadamente denominada como el "umbral de Darwin". Al otro lado de este umbral, las "especies" como las conocemos, no pueden

---

<sup>1</sup> “...Horizontal transfer...can call on the diversity of the entire biosphere, molecules and systems that have evolved under all manner of conditions, in a great variety of different cellular environments. Thus, horizontally derived variation is the major, if not the sole, evolutionary source of true innovation: novel enzymatic pathways, novel membrane transporter capacities, novel energetics, etc...” (Woese 2000, p. 8393).

existir. Sin embargo, una vez que se cruza este punto, la especiación se hace posible...El Umbral de Darwin representa verdaderamente el Origen de las Especies, ya que representa el origen de la especiación tal como la conocemos...”<sup>2</sup>

Además, sabemos que hay varios mecanismos para la transferencia horizontal de genes (HGT) como la transducción, la conjugación y los agentes de transferencia de genes, entre otros (Ochman et al. 2000; Thomas & Nielsen 2005). Y así, a través de los años transcurridos desde el primer descubrimiento de uno de estos mecanismos (Lederberg & Tatum 1946), el fenómeno de la transferencia horizontal de genes se ha confirmado que es el responsable de la transferencia generalizada entre las poblaciones de bacterias de genes que confieren tanto la resistencia a los antibióticos, las funciones metabólicas, así como, los factores determinantes de su virulencia.

Más aún, actualmente existen muchas evidencias que indican que la transferencia horizontal es un fenómeno muy significativo en la evolución. Así, estudios recientes sobre genes y genomas indican

---

<sup>2</sup> “...At its beginning, cellular evolution would have been driven in the main by HGT...there would come a stage in the evolution of cellular organization where the organismal genealogical trace (recorded in common histories of the genes of an organism) goes from being completely ephemeral to being increasingly permanent...This point in evolution, this transition, is appropriately call the “Darwinian Threshold”. On the far side of that Threshold “species” as we know them cannot exist. Once it is crossed, however, speciation becomes possible...The Darwinian Threshold truly represents the Origin of Species, in that it represents the origin of speciation as we know it...” (Woese 2002, p. 8744).

que una considerable transferencia horizontal de genes ha ocurrido entre los procariontes (Abby et al. 2012).

Además, los grandes efectos evolutivos que pueden haber sido producidos por las transferencias de loci, que subyacen a las adaptaciones, son de una profunda importancia para entender y explicar el estado actual que observamos. Así, los efectos incluyen: (i) un incremento en la amplitud ecológica del linaje receptor; (ii) el origen de adaptaciones novedosas en el linaje receptor; (iii) la evolución de taxones híbridos, poseedores de una colección nueva de adaptaciones; (iv) la irradiación adaptativa de comunidades taxonómicas enteras (Arnold 1997, 2006; Seehausen 2004).

De este modo, los investigadores han empezado a tomar en cuenta a los agentes de cambio -que podrían facilitar los eventos de la transferencia horizontal de genes-, y denominarlos un "mobiloma" (el total de todos los elementos genéticos móviles en un genoma).

En consecuencia, actualmente se piensa que el mobiloma opera de manera muy importante en la evolución biológica (Frost et al. 2005; Siefert 2009). La primera indicación de estos agentes de cambio, se puede rastrear hasta los trabajos de Barbara McClintock. En unos experimentos muy convincentes y detallados, ella descubre que ciertos elementos móviles afectaban la expresión de genes en cromosomas de maíz; y los denominó 'elementos de control' (McClintock 1950).

En definitiva, podemos afirmar que hay una cantidad creciente de evidencia que sugiere la gran importancia de estos fenómenos para la evolución microbiana (Boto 2009; Ragan & Beiko 2009).

Así como, su decisivo impacto para la evolución de las bacterias y de los mamíferos (Arnold et al. 2008).

Del mismo modo, existe un gran debate acerca de los mecanismos evolutivos que pueden haber jugado roles decisivos en el origen de los Eukarya, y asimismo, en lo referente a su posible relación evolutiva con los Archaea (Gribaldo et al. 2010).

Por otro lado, investigaciones recientes han revelado que las bacterias marinas participan en la transferencia horizontal de genes, por medio de 'agentes de transferencia de genes' (GTA). Estos agentes, que son partículas similares a los virus producidas por  $\alpha$ -Proteobacteria, insertan el ADN en genomas bacterianos con tanta frecuencia que la transferencia de genes en el océano puede estar ocurriendo de mil a cien millones de veces más común de lo que se pensaba. Esto sugiere que los GTA han tenido un poderoso papel en la evolución (Kristensen et al. 2010, McDaniel et al. 2010).

Los resultados de estos últimos estudios, prestan más apoyo a la idea de que las partículas virales son, con mucho, las formas biológicas más abundantes en la Tierra (Edwards & Rohwer 2005; Suttle 2007). Más aún, el reconocimiento de sus orígenes muy antiguos, ha conducido a la hipótesis que señala a los virus como agentes cruciales en varias transiciones evolutivas fundamentales: (1) se ha sugerido que los mecanismos de replicación del ADN y el ADN mismo, se originaron primero en el mundo viral (Forterre 2002; Villarreal & DeFilippis 2000); (2) en particular, parece que algunas proteínas que juegan un papel muy importante en los organismos

modernos pueden haber tenido un origen viral (Filée & Forterre 2005), entre otras novedades evolutivas (Brosius 2003; Ryan 2007).

Otra búsqueda interesante, nos conduce a observar la dinámica grandemente comunal y cooperativa que resulta ser el mundo de los microbios. La arquitectura estructural muy compleja de los biofilms, muestra elocuentemente que los microorganismos no son entidades aisladas sino que, contrario a ello, son de las entidades biológicas más altamente sociales que puedan haber (Foster et al. 2007; Velicer 2003; West et al. 2006).

Hoy en día los estudios sobre los biofilms, han demostrado un gran despliegue de las interacciones célula-célula, que proporciona a estos biofilms un aumento de resistencia a una amplia variedad de estrés ambientales (Remis et al. 2010). Por ejemplo, se ha descubierto que en las bacterias uno de los mecanismos más importantes para la comunicación y coordinación del comportamiento entre las células se conoce como "quorum sensing" (Davies et al. 1998).

Esta capacidad para detectar la densidad celular y la coordinación de los comportamientos del grupo, se lleva a cabo a través de la secreción y la detección de moléculas auto-inductoras (Nadell et al 2008).

Asimismo, es una característica central de la patogénesis de muchas infecciones bacterianas (Hammer & Bassler 2003; Sakuragi & Kolter 2007, Singh et al 2000).

Es decir, actualmente se sabe que la comunicación celular es un fenómeno muy común en los organismos multicelulares. Y cada vez,

somos más conscientes de que las especies unicelulares -a través de la formación de los biofilms-, podrían haber estado desarrollando diferentes tipos de comunicación entre ellas, muy tempranamente en la evolución.

Si esto hubiera sucedido en el pasado evolutivo, es bastante probable que hubieran provocado, en su momento, algunas transiciones críticas evolutivas. Reforzando lo anterior, se ha descubierto que pequeñas moléculas orgánicas o péptidos, son las moléculas señalizadoras que activan el 'quorum sensing' en bacterias (Karatan & Watnick 2009).

Todo lo anteriormente mencionado, demuestra la gran importancia de la transferencia horizontal de genes que tuvo y tiene (1) en el papel decisivo que desempeñaron los virus en la evolución temprana de la vida en la Tierra; (2) en el comportamiento dinámico de los biofilm bacterianos.

Desde un punto de vista evolucionista, sopesar el impacto de la transferencia horizontal de genes, nos lleva a averiguar cuál de los distintos mecanismos que encontramos, resultaría ser el más ancestral.

Una posibilidad que se presenta, es asumir que algunas aclaraciones a este problema, estarían asociadas con los hallazgos sobre los mecanismos que permiten la emergencia de protocélulas, que se han estado obteniendo en las simulaciones por computador.

### **4.3 Condiciones para Simular Protocélulas Auto-Replicantes**

Existen algunos aspectos relativamente discernibles, acerca del problema de modelar lo necesario para identificar y describir las propiedades asociadas con la aparición, el crecimiento y la evolución de protocélulas.

Dichos aspectos, pueden ilustrarse brevemente centrándonos en algunos estudios contemporáneos, que enfatizan la relación que se produce entre la dinámica molecular, la asociación o la agregación de procesos, y la emergencia espontánea de entidades celulares.

Ha sido reportado un sistema, en donde micelas auto-catalíticas se forman a partir de moléculas anfífilas las cuales, a su vez, son generadas a partir de una reacción de hidrólisis (Bachmann y col. 1992).

Esto resulta muy importante, puesto que los sistemas de micelas auto-replicantes pueden verse como modelos plausibles, para uno de los principales aspectos de los mecanismos químicos básicos de la vida (Fox, 1988; Salthe 1975).

Además, en este contexto, tenemos que poner de relieve tanto el fenómeno de sincronización, así como, el fenómeno de correlación entre los procesos. Dado que ambos, son necesarios para garantizar el crecimiento sostenible de protocélulas, el que a su momento, será completamente necesario para la consecución de las capacidades de evolucionar.

Es destacable el hecho, de que las correlaciones entre los procesos se pueden alcanzar cuando un sistema está en el estado



de alejamiento del equilibrio termodinámico. En estas condiciones, el tiempo de evolución de las protocélulas podría mostrar una serie de retroalimentaciones no lineales, junto con la aparición de patrones. Aquí se tiene que resaltar, que ambos comportamientos son signos inequívocos de la correlación entre los procesos (Kosztin & Schulten 2004; Levine 2005).

Con el fin de observar los resultados producidos por la correlación entre los procesos, los modelos más eficaces son aquellos que se benefician de la '*composicionalidad*' de una manera natural (Fisher and Henzinger 2007).

Tomando como base a la correlación, se requiere otra condición muy importante para lograr un crecimiento sostenido de la protocélula, evitando así la muerte por dilución: la sincronización (Oberholzer et al., 1995). Esto permitiría a las reacciones clave funcionar internamente a tasas relativamente sostenibles, en tiempos biológicamente significativos.

En cuanto a esta propiedad de la sincronización, varios estudios se han centrado en la obtención de protocélulas capaces de crecer y duplicarse, las cuales están dotadas de una forma limitada de herencia genética (Mansy et al 2008;. Rasmussen et al 2004;.. Szostak et al 2001).

Si uno desea modelar a las poblaciones dinámicas de protocélulas evolucionando, entonces, es necesario que los ritmos de los procesos dentro de estas entidades dinámicas estén sincronizados.

Esto podría significar que, cuando se simularan las sucesivas generaciones de protocélulas, los tiempos de duplicación de los

procesos tenderían asintóticamente al mismo valor (Carletti et al. 2008).

Por consiguiente, la elaboración de cualquier modelo de protocélula, antes de la aparición del material genético (conteniendo, no obstante, los requisitos mínimos para existir y evolucionar), tendrá que asegurarse de que la sincronización se mantendrá.

Por último, vamos a destacar algunas cuestiones y preguntas para futuras investigaciones, sobre la emergencia espontánea de una organización protocelular "a partir de cero" (from scratch).

Sorprendentemente, hay informes que indican que la emergencia de células podría haber sido más fácil de lo que hemos estado pensando que sería. Aunque la transición desde "a partir de cero" (from scratch) hasta la organización protocelular, ha sido considerado siempre un paso difícil de lograr, los resultados de investigaciones recientes no apoyarían esta hipótesis (Solé 2009).

Así, se ha encontrado que un ciclo de división protocelular, es alcanzable en un amplio intervalo de parámetros. Ello sugiere que, habría varias combinaciones de parámetros donde el ciclo general de replicación sería posible:

“...El modelo anterior, fue un éxito en la generación de protocélulas replicantes ... Lo que es más importante, el ciclo de replicación general de nano células micelares, por el recambio metabólico y la división, es muy robusto frente a cambios en la hidrofobicidad y las tasas catalíticas ... De hecho, el

resultado más notable de este trabajo de investigación, es que no hay ninguna combinación de parámetros para los cuales el ciclo de replicación, en general, ha sido imposible: incluso en los números de muy bajas medias de agregación y grandes tasas de disociación, las micelas crecieron y se dividieron ... Este resultado positivo, indica que mecanismos muy simples de acoplamiento del metabolismo de micelas, en el escenario de una Tierra primitiva, podrían haber sido capaces de desencadenar la proliferación de protocélulas simples...”<sup>3</sup>

Más recientemente, Morowitz y colaboradores llegaron a la conjetura de que en los océanos primitivos los fenómenos de ligadura entre compuestos tales como H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, con otros compuestos que contienen metales de transición, son hechos por algunos tipos de flujo de energía (Morowitz et al. 2010) . Aquí es importante señalar que el trabajo mencionado, aborda el problema de cómo sistemas moleculares auto-ensamblados evolucionaron hacia los primeros sistemas vivientes.

---

<sup>3</sup> “...The previous model was successful in generating replicating protocells...What is more important, the general replication cycle of micellar nanocells by metabolic turnover and division is very robust against changes in hydrophobicity and catalytic rates...In fact, the most remarkable result of this work was that there is no parameter combination for which the general replication cycle has been rendered impossible: even at very low mean aggregation numbers and large dissociation rates, micelles grew and divided...Such positive result indicates that very simple mechanisms of micelle-metabolism coupling in a primitive Earth scenario might have been able to trigger the proliferation of simple protocells...” (Solé 2009, p. 282).

En particular, desde la perspectiva de qué tan fiable y qué tan repetible fue el surgimiento de la celularidad, como un primer paso fundamental, en la transición desde los fenómenos inanimados hacia el mundo prebiótico.

En esta misma línea de pensamiento, otro tema importante es la posibilidad de formar compuestos oligoméricos por condensación no enzimática. Mucho se ha dicho acerca de la química abiótica con respecto a este tema, y hasta hace muy poco los resultados habían sido muy limitados, para las reacciones de polimerización abiótica a partir de monómeros, sean estos aminoácidos o nucleótidos.

Un grupo de investigadores (Leman et al. 2004, 2006) ha demostrado experimentalmente que el 'sulfuro de carbonilo' -un gas muy simple formado durante la actividad volcánica y, sin lugar a duda, presente en los tiempos prebióticos-, interviene en la condensación de péptidos de cadena corta.

La reacción implica la unión del sulfuro de carbonilo (un plausible agente de condensación) a un aminoácido por el grupo amino, produciendo, de esta manera, un compuesto cíclico llamado aminoácido N-carboxianhidrido (NCA). El N-carboxianhidrido puede, entonces, unirse con otro aminoácido, y un dipéptido se formará, liberándose una molécula de CO<sub>2</sub>.

En consecuencia, parece muy razonable suponer que la condensación no-enzimática de péptidos de cadena corta, podría haberse producido tempranamente, dadas las condiciones que se presentaban en las etapas iniciales de la tierra primitiva.

Continuando con la averiguación de las características que envuelven la emergencia, crecimiento y evolución de la protocélulas en la tierra en sus tempranas etapas, podemos mencionar a dos investigaciones relacionadas con la aparición de entidades celulares y que ponen de relieve, algunos aspectos conceptuales sobre la evolución.

La primera de ellas (Nowak & Ohtsuki 2008), se refiere a la dinámica prebiótica con implicaciones para el origen de la evolución.

La segunda (Morowitz & Smith 2007), aborda los flujos de energía que habrían estado relacionados con la emergencia, organización y persistencia de la vida en la tierra.

Ambos trabajos, reconocen la importancia de tener en cuenta que la evolución biológica (como se suele suponer) requiere de la mutación, selección y replicación. Sin embargo, señalan que -visto desde sus orígenes-, estas funciones no necesariamente han estado relacionadas por vínculos estrechamente interdependientes:

“...En particular, sería posible...disociar la fuente de la ventaja selectiva, del proceso de replicación molecular, hasta el punto donde los dos podrían haber sido completamente independientes...”<sup>4</sup>

Estos autores sugieren, que sería más apropiado, al abordar el origen de la vida, realizar un énfasis en la clausura de una bicapa de

---

<sup>4</sup> “...In particular, it would be possible to ...dissociate the source of selective advantage from the process of molecular replication, to the point where the two could have been completely independent...” (Morowitz & Smith 2007, p. 57).

fosfolípidos, como el evento crítico en el origen de las entidades celulares que se distinguen de su entorno, que tomar en cuenta la aparición de polipéptidos catalíticos, o, el sistema de codificación.

Morowitz (1992) sugiere una posible transición discreta desde la no-vida a la vida, con una fase prebiótica basada en intermediarios moleculares, compuestos sólo de los elementos C, H, O y P.

Estos compuestos intermediarios, serían todo lo que sería necesario para la formación de los compuestos que se requieren para el desarrollo de vesículas primordiales de fosfolípidos y la síntesis de simples sistemas transductores de energía.

Asimismo, estos intermediarios habrían sido suficientes para los más centrales y, presumiblemente, muy antiguos procesos del metabolismo en los sistemas vivos. Por ejemplo, la vía glucolítica, la ruta de las pentosa fosfato, el ciclo del ácido tricarbóxico.

#### ***4.4 Dinámica Celular en el Origen de la Evolución Prebiótica***

En la sección anterior, he llamado la atención sobre algunos estudios, que podrían apoyar la razonabilidad de algunas maneras de pensar, acerca de los pasos que condujeron hacia el origen de la vida. En particular, he señalado una dinámica molecular diferente a las requeridas, para los escenarios más comunes de los polipéptidos catalíticos, o de los compuestos que funcionan como plantillas moleculares.

Uno de estos escenarios posibles, es la transición desde "a partir de cero " (from scratch), hasta la auto-organización protocelular.

De manera especial, he puntualizado que en aquellos tiempos remotos, la capacidad de un ciclo de replicación de protocélulas, no tendría por qué estar asociada, necesariamente, con alguna ventaja selectiva.

A fin de contribuir con este tema, mi propuesta se ubica, específicamente, en el principio del mundo prebiótico.

Por aquel entonces, ni los genes ni cualquier otro componente macromolecular —tales como el ARN, o las proteínas—, formaban por esas remotas épocas, parte de la realidad (Gleiser & Walker 2008; Zimmer 2005).

Aquí es el momento, en que empiezo a explorar ciertas consecuencias evolutivas que se pueden, razonablemente, deslindar del tipo de sistema que he estado desarrollando en los capítulos anteriores.

De modo tal que, el tipo de sistema que propongo, podría haber estado presente en lo que llamamos la etapa de transición entre los fenómenos inertes (que se rigen exclusivamente por las leyes de la física, la química, la fisicoquímica), y la aparición de las primeras formas vivas.

Esta etapa de transición —el mundo prebiótico—, tiene un interés especial, pues se comporta como la frontera que separa el mundo inerte del mundo biótico. Se trata del camino que condujo al mundo de los sistemas vivos, pues podría haber estado constituido, fundamentalmente, por ciertos tipos de sistemas que habrían estado caracterizados por contener algún grado de auto-organización.

Sugiero que este mundo prebiótico, habría estado compuesto por una serie casi continua de sistemas.

Por '*continuo*', estoy haciendo una clara alusión, a que las propiedades más fundamentales de estos diferentes tipos de sistemas, habrían sido compartidas por todos ellos. De modo tal que, estas propiedades fundamentales, estarían comportándose como los detalles que se referirían a los pormenores, de una muy específica clase dinámica de auto-organización.

Así, la propuesta principal de mi sistema dinámico informacional, es que resulta ser un tipo de organización protocelular, con la capacidad de interactuar con sus alrededores, y con su medio interno. Además, contiene un cierto grado de complejidad, que no puede reducirse a sus partes o componentes, pues es un agente autónomo, y una especie de sistema complejo adaptativo (Riofrio 2007).

Parece bastante obvio, que las características de este hipotético sistema prebiótico, fueron diseñadas bajo la influencia de la obra de Kauffman (Kauffman 1993, 2000).

Pero tomamos un paso adicional, en la dirección de la introducción de la noción de información prebiótica, separando claramente a nuestro sistema dinámico prebiótico, de la noción de 'agencia' de Kauffman.

Según Kauffman, el comportamiento de sus agentes no sería solamente el comportamiento de 'partículas en movimiento'. Los agentes autónomos, no se pueden modelar por reducción. Su comportamiento sería un proceso emergente, que no es explicable



únicamente por leyes naturales, sino que debemos tener en cuenta cómo esta 'agencia' emerge.

La respuesta de Kauffman, es la definición de un agente autónomo: "...es un sistema que se reproduce, que lleva a cabo al menos un ciclo de trabajo termodinámico..."<sup>5</sup>.

Sin embargo, es una derivación directa de mi constructo, que aún se hace necesario preguntar por las fuentes de lo agencial.

En efecto, racionalmente se puede suponer que mi sistema dinámico informacional, pudo haberse constituido en el foco de la emergencia de ciertas propiedades, que acabarían con la aparición de eventos muy específicos y definidos en relación, tanto a su entorno, como a su medio interno dinámico.

Eventos tales, que no podrían haber sido generados exclusivamente por cualquier tipo de fenómeno físico, químico o físico-químico.

Entonces, hablar de eventos específicos sobre su entorno, o sobre su medio interno, me lleva a proponer que 'lo agencial' en la vida, emergió a partir de propiedades aún más básicas.

Como la vida tiene muchas características –entre las que encontramos a la compartimentación, el metabolismo, la autopoiesis, la multiplicación y la codificación hereditaria de la información– podemos plantear una aproximación interesante para desentrañar esta gran complejidad auto-organizada.

---

<sup>5</sup> "...is a reproducing system that carries out at least one thermodynamic work cycle..." (Kauffman 2000, p. 64).

Esta aproximación, se refiere a la de comenzar con el estudio de sistemas dinámicos más simples, con la esperanza de que algunos comportamientos generales aplicables a la vida puedan ser descubiertos. Con este objetivo en mente:

---

El modelo que propongo en esta investigación doctoral es una clase muy especial de estructura disipativa, que consta de al menos dos procesos correlacionados.

De manera tal, que al ser desplegados sus estados en el transcurso temporal, estarían causando la aparición de dos características básicas de los seres vivos:

**(1)** El sistema se mantiene separado de su medio ambiente,

**(2)** El sistema dinámico informacional se auto-mantiene, es decir, resulta que permanentemente está impulsado -por su propia dinámica interna-, fuera del equilibrio termodinámico.

Estos dos procesos, tuvieron que haber estado muy relacionados entre sí, debido a que compartían un compuesto químico.

Dicho componente molecular, habría sido una especie de compuesto de alta energía, porque tenía que haber tenido una grande y negativa energía libre de hidrólisis. Es decir, habría funcionado como la ancestral "moneda energética" molecular.

Uno de los procesos envueltos, habría sido una membrana protoplasmática que, de por sí, impondría una separación con su medio ambiente. Lo que es más, habría tenido la capacidad de interactuar con su entorno y con su medio interno.

El otro proceso, habría tenido la tarea de mantener a la protocélula lejos del equilibrio termodinámico. Esto lo habría logrado, debido a que en el interior de este proceso, habría habido una interrelación entre un proceso exergónico y un

Otra característica muy importante que emerge en mi sistema dinámico informacional, es cuando observamos lo que pasa en el momento en que ambos tipos de procesos se llegan a interconectar: *se convierten en las **primeras dos constricciones prebióticas** que surgen en la evolución.*

Por lo tanto, es de esperar, que ambas constricciones funcionarían como los mecanismos subyacentes que influyeron en la distribución de los posibles componentes y procesos, que se incorporarían más tarde durante las sucesivas generaciones de protocélulas.

En este punto, también me parece importante llamar la atención sobre el hecho de que la interdependiente red de procesamiento de mi protocélula, podría dar lugar a un fenómeno interesante.

Debido al hecho que sus dos auto-constricciones se encuentran interconectadas, entonces, cualquier variación energético-material, inevitablemente, arribará al micro- ciclo formado por los procesos endergónicos-exergónicos. Y ello siempre ocurrirá, sin importar cuál fue el proceso que comenzó la transmisión.

Otra importante característica, se debe al comportamiento de esta última auto-constricción –el micro-ciclo formado por los procesos endergónicos-exergónicos–, y es que su actuar causa un cambio en la energía libre del sistema ( $\Delta G_{\text{sys}}$ ). En particular, la dinámica de este micro-ciclo, produce una tendencia hacia los valores negativos.

Mi modelo conceptual, no sólo propone una membrana protoplasmática conectada a un metabolismo simple, también propone a un proceso muy importante conectado a estos dos.

Este es un proceso, que permite al sistema dinámico Informativo mantenerse en el estado termodinámico alejado del equilibrio. Y esta situación, hace posible y promueve fuertemente, la correlación entre los procesos.

Así pues, parece que la visualización de la estructura dinámica de mi protocélula, puede incluir un factor adicional que contribuiría positivamente a la posibilidad de que sea simulado e, incluso, ser reproducida en experimentos de laboratorio en el futuro.

Otra consecuencia para la evolución prebiótica -que puede derivarse de mi propuesta conceptual-, se refiere a la constatación que la información biológica es una de las propiedades más esenciales de los seres vivos.

De hecho, es de suma importancia, y tanto es así, que puede considerársele como uno de los aspectos más básicos de cualquier definición de una entidad viviente (Riofrio 2008, 2011).

“...La información surge en el mundo biológico como ‘información con sentido’, o, ‘información significativa’. Para ser exactos, emerge como ‘información-con-significado-biológico’, o como también se le puede llamar, ‘bio- significado’...”<sup>6</sup>

Por esta razón, sostengo que la emergencia de esta propiedad, marcó el punto exacto del momento en que la puerta del mundo

---

<sup>6</sup> “...Information emerges in the biological world as ‘information with meaning’ or ‘meaningful information’. To be exact, it emerges as information with biological meaning or what we like to call ‘bio-meaning’...” (Riofrio 2008, p. 365).

prebiótico se abrió de par en par. Este momento importante en la historia de la evolución en la tierra, produjo no sólo la emergencia de la información biológica, sino también, la emergencia de la función biológica, pues aparecen en el momento crítico de la génesis de las primeras células primitivas, en la Tierra primitiva:

“...En los sistemas dinámicos informacionales...la aparición física de ambas propiedades ocurre de manera interrelacional: la información-función...Ambas ideas de la información y la función se dirigen hacia la red de interrelaciones entre los procesos...a través del polo de la función (‘función informacional’), se observa que la contribución de los procesos entre sí -por su desempeño adecuado, en la lógica integral de la organización del sistema -, hace que el sistema se mantenga lejos del equilibrio termodinámico...”<sup>7</sup>

Estrictamente hablando, puesto que el sistema dinámico informacional posee tanto a la función biológica y a la información biológica -y una fuerte conexión existente entre ellas-, es que emerge, tiene la capacidad, de ser un agente autónomo.

---

<sup>7</sup> “...In the informational dynamic systems...the physical emergence of both notions happens in an interrelational way: information-function. . . Both ideas of information and function are directed towards the network of interrelations among the processes... through the function pole (“informational function”), we observe that the contribution of the processes among each other for their appropriate performance in the integral logic of the system’s organization causes the system to maintain itself far from thermodynamic equilibrium...” (Riofrio 2007, pp. 241–242).

En otras palabras, sostengo que la propiedad de ser un agente autónomo, es una propiedad que emerge de la preexistencia de la información biológica, y de la función biológica.

#### **4.4.1 Evolución Prebiótica temprana**

Otro problema importante, es tratar de descubrir la forma de evolución que debe haber caracterizado a la era prebiótica, desde sus etapas más tempranas.

Parece plausible, que cuanto más plenamente se identifican los mecanismos del cambio evolutivo en las primeras formas de sistemas prebióticos, mayor sería nuestra comprensión de los elementos que son necesarios para realizar la expansión de la teoría evolutiva.

Antes de la llegada del Umbral de Darwin, la forma más común de evolución habría sido la transferencia horizontal de genes (HGT).

Por tanto, con el fin de explicar la dinámica de la evolución, incluso, hasta en las fases finales de los tiempos prebióticos, no sería nada apropiado recurrir a la idea de la evolución darwiniana por selección natural:

“...Para comenzar a entender la evolución celular, uno tiene que ir más allá de los conceptos clásicos de células, ascendencia y genealogía...para ver las evoluciones de los tres diseños principales de células modernas en términos comparables, y para dar a la imagen de la evolución celular, una continuidad que

hasta ahora carecía...el tipo y el grado de novedad requerida para evolucionar una célula...es imposible de generarse en el contexto del tipo altamente limitado que es el acervo genético...que se asocia con un linaje individual hoy en día...deben existir mecanismos por los cuales la novedad pueda ser difundida a nivel global (intercambiados horizontalmente)...linajes individuales, especies como las conocemos, surgieron...cuando la organización celular alcanzó un cierto grado de complejidad y conectividad...he llamado a la etapa en que esta nueva, más compleja, integrada organización surge, el Umbral de Darwin, la primera aparición del cual, corresponde a la emergencia del tipo moderno de organización celular y que, convencionalmente, se le considera como la raíz del árbol universal...”<sup>8</sup>

En consecuencia, es muy factible que la Transferencia Horizontal de Genes, fuera el motor de la evolución prebiótica.

---

<sup>8</sup> “...To begin to understand cellular evolution, one has to go beyond the classical concepts of cells, ancestry, and genealogy... to view the evolutions of the three major modern cell designs in comparable terms, and to give the picture of cellular evolution a continuity it heretofore lacked... The type and extent of novelty required to evolve a...cell is impossible to generate in the context of the highly limited kind of gene pool...that is associated with an individual lineage today... Mechanisms must exist whereby novelty can be globally disseminated (horizontally exchanged)...Individual lineages, species as we know them, emerged...when cellular organization achieved a certain degree of complexity and connectedness...I have called the stage at which this new, more complex, integrated organization arises the Darwinian Threshold, the first occurrence of which corresponds to the emergence of a modern type of cellular organization and is conventionally perceived as the root of the universal tree...” (Woese 2002, p. 8746).

Por lo menos, a partir de que estas comunidades de protocélulas ya hubieran tenido genes (o moléculas similares), como parte de su dinámica auto-organizativa (Goldenfeld & Woese 2007).

De todo lo anterior, estas conclusiones se pueden derivar:

- (a) No es razonable suponer, una forma darwiniana de evolución por selección natural, durante los inicios de la evolución prebiótica.
- (b) Al mismo tiempo, no se puede explicar la antigua dinámica evolutiva, utilizando el concepto de la Transferencia Horizontal de Genes, ya que el material genético (el cual se podría intercambiar de esta manera), emergería en etapas más tardías, en el interior de la era prebiótica.

Entonces, estos razonamientos nos enfrentan directamente ante la pregunta:

- **¿Cuál fue el tipo de evolución en los albores de la era protocelular, durante la emergencia de un sistema celular con el tipo de auto-organización, como se ilustra en mi modelo conceptual?**

A pesar, de que se trata de momentos en los que la Transferencia Horizontal de Genes, no se había desarrollado todavía en las poblaciones de protocélulas, sería válido tratar de imaginar algunas posibilidades que nos darían algunas pistas sobre las causas involucradas.

Es decir, ampliando un poco más la pregunta anterior:



- **¿Cuál es tipo de evolución que se llevó a cabo en los albores de la era protocelular, de modo tal, que fue la causa que condujo al desarrollo de la Transferencia Horizontal de Genes?**

Así, de todos los mecanismos que se han identificado en la Transferencia Horizontal de Genes, se podría postular una secuencia en su aparición, la que sería, por supuesto, sólo tentativa.

Más en particular, estoy interesado en tratar de discernir el mecanismo que podría ser el más antiguo.

Para empezar, tendría que descartar rápidamente a la transducción, o a la conjugación como muy antiguos, porque estos presuponen una maquinaria molecular muy compleja.

Por ejemplo, la conjugación requiere la existencia de plásmidos y un número de sucesos moleculares que implican proteínas específicas, enzimas, y la existencia de una membrana celular capaz de sintetizar 'pilus' (esto es, una clase de proteínas fibrosas).

Más plausible, sería el caso de que formas más primitivas de los agentes de transferencia de genes, estuvieran actuando en los primeros intercambios de material genético en las protocélulas primitivas.

Teniendo en cuenta mi propuesta conceptual, y los hechos que acabo de mencionar, podría esbozar un posible escenario para los tiempos en que se abrieron las puertas del mundo prebiótico.

Más precisamente, podemos observar lo que reclama la hipótesis de una comunidad de protocélulas capaces de interactuar, provocando la activación de unas redes de señalización, junto con el

intercambio de materiales, y produciendo el aumento (en cierta medida), de su respuesta a los cambios ambientales.

Lo que se deduce rápidamente, es que este escenario clama, en realidad, por una cierta clase de estructuras dinámicas, que se puedan auto-organizar, conteniendo capacidades muy especiales.

En primer lugar, es importante notar que esta clase de estructuras dinámicas auto-organizadas, debe haber tenido la capacidad de enviar y reconocer los signos:

“...¿Cuál es la naturaleza de un signo?...Parece conveniente, en un enfoque naturalista, conectar las variaciones de materia-energía con la posible aparición de los signos. Si un signo no es una cosa, sino el producto de ciertas relaciones, entonces, su naturaleza dependerá del tipo de relación en la que está implicado. En otras palabras, los signos se formarán -emergerán, por así decirlo-, cuando ciertas relaciones tengan lugar...a partir del hecho de que cualquier tipo de variación de la energía puede ocurrir en un sistema biológico, sólo se convertirá en un signo...cuando el sistema tenga la capacidad de reaccionar en conformidad con ese signo. Y esto sucede, cuando la variación de la energía impacta en algún lugar en el sistema, y se incorpora en el sistema -como una variación-, con la capacidad de convertirse en parte de los procesos del sistema...Si una variación de la

energía, no tiene la capacidad para ser incorporada en la forma de una variación (de cualquier tipo de variación) en el sistema, entonces, no es un signo para el sistema. Como consecuencia, el sistema no puede desarrollar una respuesta. Esta es la forma en que los signos han emergido de la realidad física...”<sup>9</sup>

Además, el compartir ciertos componentes y estructuras adquiridos y transmitidos a través de estas fuentes, posiblemente, fuera la forma en la que poblaciones más antiguas de protocélulas evolucionaron.

Probablemente, esta fue la manera en la que nuevas estructuras, nuevos componentes, redes moleculares, características nuevas, propiedades -y rasgos similares-, habrían sido generados por las primeras dinámicas protocelulares.

En esta misma línea de pensamiento, reportes actuales descubren que diferentes comunidades bacterianas, pueden dar a lugar efectos distintos sobre su entorno (Portillo & Gonzalez 2010).

---

<sup>9</sup> “...What is the nature of a sign?...It seems appropriate, in a naturalistic approach, to connect the matter-energy variations with the possible emergence of signs. If a sign is not a thing but a product of certain relationships, then its nature will depend on the type of relationship in which it is involved. In other words, signs will be formed—will emerge, so to speak—when certain relationships take place...from the fact that whatever kind of energy variation may occur in a biological system, it will only turn into a sign...when the system has the capability to react accordingly. And this happens when the energy variation impacts something in the system and is incorporated into the system—as a variation—with the capacity of becoming part of the system’s processes...If an energy variation does not have the capacity to be incorporated in the form of a variation (any kind of variation) in the system, then it is not a sign for the system, and, as a consequence, the system cannot develop a response. This is the form in which signs emerge from physical reality...” (Riofrio 2008, pp. 365–366).

Además, un grupo de investigaciones recientes, han reportado un tipo de evolución que, en lugar de producirse variaciones sin dirección -genuinamente al azar-, estaría centrada en variaciones dirigidas, específicamente causadas por factores ambientales. En concordancia, precisamente, a como Lamarck sostenía que la evolución se comportaba (Assis & Kondrashov 2009; Koonin & Wolf 2009; Makarova et al. 2006; Sorek et al. 2008).

Estos hechos, me traen a la mente la conferencia de Barbara McClintock, al recibir en 1983 el premio Nobel.

En donde, planteaba que el ambiente puede "dirigir" las mutaciones, o reordenamientos del genoma. Una especie de idea Lamarckiana, en donde el estrés ambiental puede influir directamente, en el fenotipo de la descendencia de los individuos bajo dicho estrés (Jablonka & Lamb 2005; Ruden et al. 2008).

Para finalizar este subcapítulo, puedo realizar un balance conceptual de todo lo que he referido hasta ahora.

En realidad, estas últimas referencias nos dan una indicación sobre el comportamiento de las comunidades de protocélulas, que podría llevarnos a proponer **una forma Lamarckiana de la herencia en los albores de la evolución prebiótica.**

Estas indicaciones, nos remiten a comprender que debieron establecerse, en etapas muy tempranas del mundo prebiótico:

- **(i) Los fundamentos de las redes de señalización**
- **(ii) La primera aparición de la agencia pre-biológica**

Antes de terminar el presente capítulo (y mi tesis), tengo que presentar otros argumentos, que también se derivan de aceptar los presupuestos fundamentales de mi modelo conceptual.

Se refieren explícitamente, a observar otras implicancias de un sistema protocelular que se auto-organiza, que tiene procesos en una red integrada, y que al contener constricciones que determinan la emergencia de las propiedades básicas de los sistemas vivientes, también hacen posible que emerjan otros comportamientos, más vinculados, a cómo los organismos vivos manejan los signos que puedan detectar.

#### **4.5 Sobre Computaciones Biológicas y Redes Moleculares**

El término computación biológica, también se conoce como computación natural, y se emplean a estos dos términos para referirse a una especie de cómputo, que la naturaleza lleva a cabo.

Por otro lado, también se usan para referirse a los modelos computacionales inspirados en la naturaleza. Por ejemplo, los algoritmos evolutivos y los algoritmos basados en las redes neuronales, corresponden a líneas de la inteligencia artificial.

Por lo tanto, no es posible hacer caso omiso a las contribuciones procedentes del campo de la ciencia de la computación, ya que se ha revelado que los complejos procesos naturales pueden ser vistos como procesos de cómputo.

Lo mismo puede decirse acerca de la biología, cuando observamos el hecho de que se ha impulsado la comprensión de los

procesos dentro de su campo, con la asistencia permanente de las aplicaciones creadas a través de ciencia de la información.

Sin embargo, existe una rama de investigación que posee una larga lista de preguntas, en donde los investigadores todavía tienen que plantear nuevas propuestas, acerca de varios datos recientemente descubiertos.

Y son las investigaciones, sobre la cuestión de si ciertas formas que podríamos llamar 'computaciones', se producen de forma espontánea en la naturaleza. Esta última parte del capítulo final de mi tesis, puede visualizarse como mi intento de arrojar algo de luz sobre este tema electrizante.

Cuando observamos la realidad, siempre vamos a encontrar variaciones de materia-energía: cambios en las concentraciones de los compuestos químicos, cambios de pH, conformaciones diferentes en las macromoléculas, cambios en los procesos físicos y químicos, cambios en la energía potencial, etc.

A partir de esta última afirmación, nos damos cuenta de que una variación de materia-energía, por sí sola, no es nada más, ni nada menos, que una variación de materia-energía.

En buena cuenta, se puede observar que inmersos en nuestro universo que es cambiante, dinámico, nos encontramos con fenómenos en donde se producen cambios en la posición relativa, de los componentes que conforman a ese fenómeno.

Pero también, nos encontramos con otros tipos de cambio: las variaciones de materia-energía. En esta clase de cambio, podemos

obtener la medida una variación, entre un supuesto estado inicial, y un supuesto estado final.

Dicho valor numérico, o rango obtenido, nos brinda el grado en que esa variación de materia-energía se ha dado a lugar. Si quisiéramos obtener alguna otra consecuencia física de ese tipo de cambio, que pudiera estar remotamente relacionada con algún otro aspecto de la realidad, digamos, la aparición de estructuras dinámicas que portan propiedades especiales, la respuesta es un completo y rotundo no.

Sin embargo, bajo ciertas circunstancias, la misma variación de materia-energía, está presta a convertirse en una señal.

He mencionado, en varios momentos de la exposición de mis argumentos, que los sistemas dinámicos informacionales **son el foco de la emergencia de los signos en el universo físico.**

Respecto del tema que estamos tratando en este subcapítulo, vale la pena volver a incidir en el hecho de que, dado cualquier tipo de variación de materia-energía, ésta se podrá convertir en un signo, solamente, en el caso de que se incorpore en el interior del sistema dinámico informacional, como **“variación”**.

Y resulta que al incorporarse en el interior de este tipo de sistemas dinámicos -como variación-, implica que ésta determinada y específica variación de materia-energía, es capaz de interactuar con ciertos componentes de los procesos, que conforman a los sistemas dinámicos informacionales.

Además, al ser incorporada como variación, puede también transmitirse por el circuito de procesos del sistema, y tener alguna acción causal en el interior del sistema, o sobre su entorno.

#### **4.5.1 Investigando aspectos de las Computaciones Biológicas**

Se podría decir, que las investigaciones que tratan de descubrir los basamentos de aquello que puede llamarse 'la computación biológica', están fuertemente relacionadas con los estudios que intentan fundar una biología teórica. Es decir, tratar de encontrar un conjunto de principios, y unas matemáticas propios de la biología. En donde, como parte de estos principios, tendríamos a una sólida teoría evolutiva, y una teoría de los sistemas complejos biológicos (Noble, 2002).

El problema es que, no poseemos una biología teórica que aborde los fenómenos biológicos, a partir de un marco de estudio general.

En su lugar, lo que tenemos en la actualidad es:

“...En cambio, se aplican las teorías básicas de la química y la física a la biología...Más aún, no hemos resuelto las cuestiones fundamentales en la teoría central de la biología, es decir, la evolución. ¿Las características de los vivo son dependientes de acontecimientos contingentes — tales como el cambio climático, o, los impactos de meteoritos— sin ninguna tendencia general, o, son estas características aquellas que inevitablemente surgen en cualquier proceso de



evolución?...si llegaran a haber algunos principios generales (lo que algunos llamarían la "lógica de la vida"), entonces, estos — en sus formulaciones en forma de ecuaciones —, eventualmente se convertirían en la base de una biología totalmente teórica..."<sup>10</sup>

Por lo tanto, podemos asumir que aquellas investigaciones que se proponen dilucidar los componentes básicos, que podrían abarcar los tipos y la naturaleza de las computaciones naturales en los sistemas biológicos, no sólo son ahora importantes.

De manera notable, se han convertido en el centro y son completamente aplicables a nuestros tiempos modernos, si se les visualiza como contribuciones al desarrollo de una biología teórica.

Cuando mencionamos la noción de computación natural, se suelen citar los siguientes tres tipos de métodos:

- 1) Aquellos inspirados en la naturaleza, relacionados con el desarrollo de nuevas técnicas de resolución de problemas.
- 2) Los que se basan en el uso de computadoras, para sintetizar los fenómenos naturales.
- 3) Aquellos que emplean materiales naturales (por ejemplo, moléculas), para computar.

---

<sup>10</sup> "...instead we apply the basic theories of chemistry and physics to biology...Moreover, we have not resolved fundamental questions in the central theory of biology, that of evolution. Is it dependent on contingent events — such as weather change or meteorite impacts — with no overall trend, or are there features that would inevitably emerge in any evolutionary process?...if there were to be some general principles (what some would call the 'logic of life'), then these — in their formulations as equations — would eventually become the basis of a fully theoretical biology..." (Noble, 2002, pp. 462-463).

Sin embargo, es posible señalar una cuarta posibilidad, que está empezando a ganar aceptación: la computación natural en los sistemas biológicos es real.

En consecuencia, la estrategia que voy a utilizar está basada en la búsqueda de métodos, que me permitan descubrir su naturaleza.

Un camino investigativo, se ubica en la búsqueda de la naturaleza misma de la computación y sus conexiones con otros conceptos relacionados. Entre ellos encontramos, a la noción de mecanismo, la naturaleza de los signos y los símbolos, los significados posibles detrás del concepto de digitalidad, la computación no determinista, las implicaciones de la noción de computabilidad absoluta, la relación entre el procesamiento de la información y la computación, y muchos otros.

Un mayor ahondamiento en cada uno de estos conceptos, en conjunción con el descubrimiento de sus aplicaciones, podría producir una revolución en los fundamentos de la ciencia biológica.

Debido a que nuestra protocélula, esboza el cuadro de los albores del mundo prebiótico, que al producir la emergencia de la información biológica (y con la existencia de la constricción interna que mantiene lejos del estado de equilibrio termodinámico al Sistema Dinámico Informativo), nos encontramos en una situación donde podemos concluir que mi constructo teórico -a través de sus procesos descentralizados-, se llega a comportar en formas que pueden estar estrechamente relacionados con diferentes tipos de signos, que se generan tanto externamente, como internamente.

Este bio-significado (que es el generador de la conducta de la protocélula, es decir, un tipo de respuesta), es el resultado de la transmisión de una "variación" - procedente de un tipo de variación de materia-energía, que afectó al sistema -, que viaja a través de la red de procesamiento del sistema dinámico informacional, y que termina produciendo un efecto que aumentará, mantendrá, o disminuirá, el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Podríamos ser capaces de asignar a esta variación de la materia-energía, transmitida a través de los mecanismos moleculares implicados en los procesos del sistema, una relación, o un vínculo, a lo que podría ser ***la forma en que en el mundo biológico se realizan 'computaciones'***.

Vayamos por pasos. Lo primero es comprender, que es debido a la existencia de una gran interconexión e interdependencia entre los procesos que conforman una red, y que constituyen a mi sistema dinámico informacional, que se producirán fenómenos nuevos e interesantes.

Lo segundo, es caer en la cuenta del papel fundamental que juega la específica interconexión de sus dos auto-constricciones, en la dinámica de mi sistema.

Esto es, la "variación" (que tuvo su origen en un tipo de variación energético-material, que se produjo, o impactó, en algún lugar de mi constructo teórico), inexorablemente arribará, a la constricción responsable de mantener al sistema alejado del equilibrio termodinámico, es decir, arribará al micro ciclo formado por los procesos endergónicos-exergónicos.

Y específicamente, es esta última constricción la que causa un cambio hacia valores negativos en la energía libre del sistema.

Por tanto, de aquí se sigue que la 'variación' que arribará a esta constricción -originada de alguna variación energético-material, que se produjo dentro del sistema, o incidió al sistema desde sus alrededores-, podrá producir, a esta tendencia hacia valores negativos en la energía libre del sistema tres, resultados posibles: (1) ninguna modificación a esta tendencia; (2) una modificación a favor de esta tendencia; (3) una modificación contraria a esta tendencia.

Una implicación importante de esta línea de razonamiento, es que esta auto-constricción se ha convertido para toda la gama de acciones producidas en el interior del sistema dinámico informacional, en una especie de insoslayable lugar de control para la creación de algún tipo de respuesta, que se generará en alguna otra parte de esta red de procesamiento interconectado e interdependiente, que resulta ser mi protocélula conceptual.

Así, cuando se enfrenta a algún tipo de variación en su entorno, o de su medio interior, y cuando esa variación alcanza este punto de verificación inevitable (el micro-ciclo, que es auto-constricción), es como si el sistema dinámico informacional tuviera una breve conversación consigo mismo:

"... Ya que he detectado esta variación particular que tiene (1) ningún efecto; o, (2) un efecto creciente; o, (3) un efecto decreciente, en mi estado de alejamiento del equilibrio termodinámico, entonces, mi respuesta será

(1) continuar con lo que estoy haciendo; o, (2) hacer uso de ella para mejorar mi orden dinámico; o, (3) tomar las medidas necesarias para contrarrestar y expulsar ésta perturbación del sistema...ahora, para esta variación que acaba de llegar al micro-ciclo, detecto que tengo que..."

Esta posible explicación, podría llevarnos a la pregunta de cómo estructuras 'small world' emergieron de manera espontánea en el ámbito biológico, de manera tal que contenían -entre otros elementos-, características libres de escala (scale-free), y capacidades evolutivas (Watts & Strogatz, 1998; Kleinberg, 2000; Bork et al., 2004; Gong & van Leeuwen, 2004).

Tal vez, esos mecanismos sencillos que estuvieron involucrados en la comunicación de esta comunidad muy antigua de protocélulas, pudieron haber sido la raíz de lo que habría de ser la forma en que estas dinámicas moleculares han proporcionado las condiciones para la emergencia de las primeras estructuras 'small world' (Barabási & Oltvai 2004; Kleinberg 2000; Masuda & Aihara 2004; Shin & Kim 2006; Sporns & Honey 2006; Watts & Strogatz 1998):

"...Yo creo que una conclusión más general se puede extraer de las redes 'small world', a saber, que la correlación entre la estructura local y las conexiones de largo alcance, proporciona pistas importantes para encontrar caminos a través de la red...en el límite, cuando las conexiones de largo alcance se generan de

manera uniforme al azar, el resultado es un mundo en el que existen cadenas cortas...”<sup>11</sup>

“...Ahora se entiende claramente, que la mayoría de las funciones celulares se llevan a cabo por grupos de moléculas dentro de módulos funcionales...Estos módulos no están aislados unos de otros, sino que, interactúan, y con frecuencia se superponen...dentro de una red con una jerarquía ‘scale-free’ inherente, en la que el rango dinámico alcanzable está limitado por la topología subyacente...Este marco de trabajo, que se está desarrollando, alterará significativamente nuestra comprensión de la biología...”<sup>12</sup>

Sabemos que, definitivamente nuestra comprensión de los fenómenos biológicos está sufriendo grandes cambios. Como se menciona en la última cita, las funciones biológicas se llevan a cabo por la interacción de un grupo de moléculas contenidos en módulos los que, a su vez, son funcionales.

---

<sup>11</sup> “...I believe that a more general conclusion can be drawn for small-world networks—namely that the correlation between local structure and long-range connections provides critical cues for finding paths through the network... in the limit, when long-range connections are generated uniformly at random, the result is a world in which short chains exist...” (Kleinberg 2000, p. 845).

<sup>12</sup> “...It is now clearly understood that most cellular functions are carried out by groups of molecules within functional modules...These modules are not isolated from each other; they interact and frequently overlap...within a network with an inherent scale-free hierarchy, in which the achievable dynamical range is constrained by the underlying topology...This developing framework will significantly alter our understanding of biology...” (Barabási & Oltvai 2004, p. 112).

La funcionalidad, y la transmisión de señales en el reino de lo vivo, están sustentadas por la existencia de redes moleculares interconectadas.

Todo esto no hace sino, hacerme suponer una cierta validez y razonabilidad de mi modelo de sistema dinámico, que postula que en el comienzo mismo del mundo prebiótico existió una entidad dinámica compuesta de procesos específicos, interconectados en una red dinámica de especies moleculares.

Y que una propuesta así, de partida, en el origen mismo de todo un dinamismo molecular, que logró producir la gran complejidad que ostenta el más ancestral organismo vivo en alguno de los tres tipos celulares, hace más comprensible este andar evolutivo, que implica la generación de ingentes cantidades de estrategias innovadoras, y numerosas formas nuevas de utilización de la bioenergética, entre otras novedades evolutivas.

Al mismo tiempo, estos mismos mecanismos que permanentemente se encuentran interactuando e inter-dependiendo en los procesos -que conforman al modelo protocelular, que he venido detallando a lo largo de toda mi tesis-, se comportarían como las características esenciales que harían posible que en el reino biológico se pueda computar (Ben-Jacob 2009; Denning 2007; Mitchell 2009, 2011; Paton et al. 2004; Peak et al. 2004; Schnitzer 2002; Riofrio 2010):

“...En los últimos años la idea de utilizar los conceptos computacionales, como una forma de

entender los sistemas biológicos se ha convertido cada vez más importante...esta actitud computacional hacia los sistemas biológicos ha sido valiosa en la ciencia de la computación en sí, también, mediante la observación de cómo los sistemas biológicos resuelven los problemas, se pueden desarrollar nuevos algoritmos en las computadoras para la resolución de problemas...<sup>13</sup>

“...Este interés generalizado en la computación biológica refleja una fuerte intuición de que las nociones de información, y procesamiento de la información, son elementos fundamentales que arrojarán nueva luz sobre cómo los sistemas vivos funcionan, y los principios comunes que subyacen a su funcionamiento...pero la biología aún carece de una teoría general de cómo la funcionalidad adaptativa emerge de las grandes colecciones de componentes individuales y descentralizados. ¿Cómo, por ejemplo, las colonias de insectos, compuestas por miles de millones de insectos individuales, de manera colectiva toman decisiones y llevan a cabo tareas complejas que parecen requerir la comunicación y el procesamiento de toda la información por la colonia en su conjunto?

---

<sup>13</sup> “...In recent years the idea of using computational concepts as a way of understanding biological systems has become of increasing importance... this computational attitude towards biological systems has been valuable in computer science itself, too; by observing how biological systems solve problems, new algorithms for problem solving on computers can be developed...” (Paton et al. 2004, p. 6).



¿Cómo funciona el sistema inmunológico, compuesto por trillones de células y componentes moleculares que circulan en el cuerpo, que de manera colectiva reconocen los patrones de infección y otras condiciones de todo el organismo, y deciden colectivamente cómo montar una respuesta adecuada?...”<sup>14</sup>

Es de suma importancia, meditar sobre las afirmaciones que se despliegan en estos dos últimos textos que he citado. Podemos apreciar una creciente convicción, tanto en la comunidad de científicos que tratan directamente con las computadoras, la generación de algoritmos, y la noción de computación en su sentido más estándar, como también en los científicos que provienen de las canteras de las ciencias biológicas.

Esta creciente convicción, se refiere al hecho que los conceptos de información y procesamiento de la información, se están convirtiendo en elementos fundamentales para tratar de entender cómo funcionan los procesos biológicos, en situaciones de

---

<sup>14</sup> “...This widespread interest in biological computation reflects a strong intuition that the notions of information and information processing are building blocks that will shed new light on how living systems operate and the common principles underlying their operation...but biology still lacks a general theory of how adaptive functionality emerges from large collections of individual, decentralized components. How, for example, do insect colonies, composed of thousands to millions of individual insects, collectively make decisions and accomplish complex tasks that seem to require the communication and processing of colony-wide information? How does the immune system, composed of trillions of cells and molecular components circulating in the body, collectively recognize patterns of infection and other organism- wide conditions, and collectively decide how to mount an appropriate response?...” (Mitchell 2011, pp. 2–3).

normalidad y aislamiento, de interacción con otros organismo vivos, y en situaciones de estrés.

Convicción actual, a la cual me aúno totalmente, tanto así, que a lo largo de este escrito, he presentado un camino para intentar brindar una posible vía de acceso a las múltiples maneras en que se han concretado las distintas características de los sistemas vivos.

Mi estrategia, ha partido de una visualización del fenómeno evolutivo actual -que contiene tres tipos celulares modernos-, conteniendo un incremental aumento en la complejidad de sus estructuras y redes moleculares, visto desde el pasado al presente.

Por tanto, esta increíble auto-organización que poseen las células actuales, va siendo menos y menos compleja conforme retrocedemos en el tiempo, de modo que al principio de toda esta dinámica evolutiva, nos deberíamos de encontrar con un tipo de sistema dinámico -que aún cuando contendría componentes moleculares muy simples-, bastaría con que se pudieran instanciar ciertas interrelaciones entre ciertos tipos de procesos, de modo tal, que se pudiera generar (podría emerger), lo que indico a continuación:

“...Este bio-significado (generador de conductas en la protocélula; es decir, tipos de respuesta) es el resultado de la transmisión de una ‘variación’-procedente de una variación de la materia-energía que afectó al sistema-, que viaja a través de la red de procesamiento del sistema dinámico informacional, y que termina

produciendo una consecuencia que aumentará, mantendrá, o, disminuirá el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico. Podríamos ser capaces de asignar, a esta variación de energía-materia, transmitida a través de los mecanismos moleculares implicados en los procesos del sistema, una relación o un vínculo a lo que podría ser la forma en que el mundo biológico 'computa'..."<sup>15</sup>

Para finalizar mi tesis, sólo me resta mencionar que es posible que el modelo conceptual que he detallado en todos estos capítulos, nos proporcione las herramientas necesarias para empezar a mirar la cuestión conexas de cómo una especie de 'punto de referencia relativo' -que permitió el desarrollo de 'algo para ser ávido por' ("something to be greedy about")-, pudo haber emergido en las trayectorias de enrutamiento de los small world biológicos.

Tal vez, la auto-constricción -que logra impulsar el cambio en la energía libre del sistema-, puede ser vista como ese '**punto de referencia relativo**', que apareció por primera vez en el mundo físico, en este integrado, interconectado e interdependiente red, que es mi **Sistema Dinámico Informacional**.

---

<sup>15</sup> "...This bio-meaning (generator of protocell behavior, i.e. type of response) is the result of the transmission of a "variation"—originating from a matter-energy variation that affected the system—that travels across the Informational Dynamic System's processing network and that ends up producing a consequence that will increase, maintain, or decrease the far from thermodynamic equilibrium state. We might be able to assign to this matter energy variation, transmitted across the molecular mechanisms involved in the system's processes, a relationship or link to what could be the way in which the biological world 'computes'..." (Riofrio 2010, pp. 60–61).

# **CONCLUSIONES**

El trabajo original que he presentado en esta tesis, ha tenido como principal objetivo, centrarse en una serie de posibles aspectos fundamentales y teóricos surgidos de una nueva área de investigación, que es potencialmente interesante para brindar nuevas luces y enfoques a ciertos problemas importantes en filosofía, así como, para las investigaciones en las ciencias biológicas: las consecuencias evolutivas de una propuesta sobre el origen celular de la evolución prebiótica.

Si bien, las investigaciones actuales indican que es razonable asumir que nunca sabremos qué tipo de compuestos moleculares participaron exactamente en los procesos de adaptación y evolución de los primeros sistemas prebióticos. Sin embargo, se tiene conocimiento desde la década de los noventa, que el material proveniente de los asteroides y cometas que incidieron en la Tierra primitiva, pudo haber sido una fuente de materia orgánica que resultó ser necesaria para el advenimiento de la vida en la Tierra (Chyba et al. 1990).

En este contexto, he postulado en los capítulos de este escrito doctoral, que cuando estamos en la búsqueda de tratar de entender cómo estructuras moleculares simples dentro de procesos moleculares específicos, pudieron haber producido la emergencia de un sistema celular, parecería ser muy valioso un enfoque en donde los procesos de auto-ensamblaje y auto-organización son considerados como las aproximaciones clave.

En estas conclusiones, presentaré brevemente los principales resultados obtenidos en mi tesis y reflexiones para futuros trabajos.

### ***Orígenes de la Era Prebiótica***

Mi principal hipótesis de trabajo, la presenté en el primer capítulo. En donde, he sostenido que el amanecer del mundo prebiótico implicó la formación de una específica dinámica de auto-organización que, en realidad, fue un tipo determinado de protocélula. La cual pudo emerger en el pasado remoto, gracias a la correlación que se produjo entre tres tipos muy diferentes de procesos moleculares. Y en donde, dos de estos procesos actuaban como constricciones diferentes del sistema.

El modelo que he propuesto, señala que estos dos procesos (constricciones del sistema), se encuentran muy correlacionados, de manera tal, que sus estados podrían haber causado la aparición de dos características básicas de los seres vivos:

(1) el sistema se mantiene separado de su medio ambiente;

(2) el sistema se mantiene por sí mismo, y está siendo impulsado por su propia dinámica, fuera del equilibrio termodinámico. Esto es, sería una especie de estructura disipativa que se auto-sostiene.

Estos dos procesos están altamente interconectados, ya que comparten un compuesto químico. Dicho compuesto, habría sido un tipo de compuesto de alta energía, ya que tenía que haber tenido una gran energía negativa libre de hidrólisis. Así, se habría llegado a comportar como si fuera la ancestral "moneda energética" molecular.

El tercer grupo de procesos, es una red de reacciones que lleva a cabo la regeneración de la dinámica organizacional, y los procesos de auto-mantenimiento y reproducción de este sistema prebiótico.

Mi propuesta de protocélula, por consiguiente, se organizó por la interdependencia de tres conjuntos diferentes de procesos. Lo que es interesante, es que cada proceso separado de los demás no tiene potencial evolutivo.

Sin embargo, cuando están interrelacionados, desencadenan la aparición de una entidad que contiene un cierto nivel de interacción con su entorno, es decir, que se comporta como un agente autónomo (Kauffman, 2000).

Esto le proporciona la capacidad de adaptarse a su ambiente - es un sistema adaptativo complejo - y, por lo tanto, tendría la capacidad de evolucionar (aunque este rasgo habría sido mínimo en sus inicios).

Además, mi modelo de protocélula contiene propiedades que no pueden ser encontradas dentro de los tipos de procesos que lo conforman, si es que fueran separados uno del otro.

Esta interdependencia a la que estoy aludiendo, tiene que ver con los tres tipos de procesos que interactúan entre sí, de manera que pudieron convertirse en una red molecular de procesos que se auto-sostiene y se auto-mantiene, de cara a un entorno que siempre se encuentra en constante cambio.

En otras palabras, mi modelo de protocélula ya habría contenido dentro de sí, un cierto grado de complejidad mínima, que no se puede reducir a sus partes, o componentes.

### ***Sobre la emergencia de la información biológica***

Por otro lado, es importante resaltar que existe un reconocimiento creciente en la comunidad científica, de que la vida se distingue de lo no viviente, por su dependencia a los signos (Pattee 2005).

Y cuando yo estaba construyendo mi modelo de un temprano sistema prebiótico, concomitantemente, surgió una aproximación a los signos, como fenómenos que emergen en el mundo físico, a partir de una relación muy especial y específica.

Mi línea de razonamiento se deduce, del hecho de que cualquier tipo de variación energético-material que se pueda producir en un sistema biológico, sólo se convertirá en una señal (que se convertirá en la 'información potencial' para el sistema), cuando el sistema tenga la capacidad de reaccionar en concordancia con ella.

Y esto sucede, cuando la variación energético-material tenga un impacto en algo en el sistema y sea incorporada en el sistema como una forma de variación (cualquiera que esta sea), y que tenga la capacidad de llegar a ser parte de algún proceso del sistema.

Si una variación energético-material no tiene la capacidad de ser incorporada en la forma de una variación (de cualquier tipo de variación) en el sistema, entonces, no es una señal para el sistema. Y, por consiguiente, el sistema no puede desarrollar una respuesta.

Por lo tanto, sostengo que esta es la forma en la que los signos surgieron de la realidad física.

En consecuencia, mi propuesta relativa a las condiciones en las que es posible observar la emergencia de la información biológica,



encuentra sus raíces en la dinámica de transmisión de las variaciones energético-materiales.

Más tarde, después de que estas variaciones sean incorporadas a una entidad dinámica que pueda detectarlas (convertirlas en unos signos para el sistema), y que también, contengan la capacidad de producir algún tipo de respuesta en sintonía con ellas, los signos entonces se convierten en una información totalmente significativa para esa entidad dinámica (por ejemplo, los sistemas biológicos o, en nuestro caso, los sistemas prebióticos).

Por estas razones, es que puedo proponer lo siguiente: la información surge en el mundo biológico, como "información con sentido" o "información significativa".

Para ser exactos, emerge como información con significado biológico, es decir, con "*bio-significado*".

Al igual que los signos, la información es también un concepto relacional y, como tal, depende de procesos, procesos específicamente biológicos. Así, la información siempre será información significativa para los sistemas biológicos.

Dado que nuestra protocélula pinta el cuadro del amanecer del mundo prebiótico, y dada la emergencia de la información biológica, y la existencia de la constricción interna que asegura el alejamiento del estado de equilibrio termodinámico para la protocélula, nos encontramos en una situación donde podemos concluir que el sistema, a través de procesos descentralizados, se comporta de maneras que pueden estar correlacionadas con los diferentes signos que se generan interna y externamente.

Este bio-significado (que es generador de comportamientos en la protocélula, es decir, tipos de respuesta), es el resultado de la transmisión de una "variación" -procedente de una variación energético-material que afectaba al sistema-, que viaja a través de la red de procesamiento de la protocélula, y que termina produciendo una consecuencia: aumentar, mantener o disminuir el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

A partir de lo anteriormente mencionado, una línea de investigación para trabajos posteriores se encuentra en la posibilidad de que mi propuesta de sistema dinámico protocelular, me permita realizar aproximaciones a las relaciones y capacidades que se presentarían entre las variaciones energético-materiales, los mecanismos moleculares implicados en los procesos del sistema, y las formas en que en el mundo biológico se realizan 'computaciones', entendidas como cambios dinámicos de la información biológica (cambios dinámicos del bio-significado).

### ***Fisicalismo de procesos: Una aproximación***

También en el segundo capítulo –previamente a mi planteamiento sobre la emergencia de la información biológica-, me dediqué a realizar la defensa de un tipo de fisicalismo que no es incompatible con la noción de emergencia ontológica<sup>1</sup>.

En donde mi punto de partida, fue sostener que tener una visión sobre los rasgos que constituyen lo esencial de lo real como

---

<sup>1</sup> En el subcapítulo 2.3.1

constituido por entidades únicamente físicas no implica, al mismo tiempo, afirmar que estos sean sustratos o sustancias inmutables. Mi propuesta sostiene todo lo contrario, es decir, afirmo que lo cambiante y lo dinámico son componentes fundamentales de lo real.

De modo tal que mi aproximación a este problema, me llevó a postular que los sistemas prebióticos -y por ende, la vida misma-, constituyen ejemplos concretos, acerca de la emergencia ontológica de propiedades.

A continuación, cité algunos reportes científicos que ponían en tela de juicio lo que no hacía mucho tiempo se postulaba en la comunidad científica sobre los comportamientos cuánticos.

Es decir, se consideraba que los comportamientos cuánticos sólo se podían observar a nano-escalas, en condiciones muy controladas de laboratorio, y a muy bajas temperaturas.

Muy contrario a estas consideraciones, estas investigaciones reportaban la presencia de comportamientos cuánticos a escala macroscópica, que se producían a temperatura ambiental, y en condiciones que se alejan grandemente de las condiciones controladas de laboratorio.

Me estoy refiriendo, al descubrimiento de la existencia de procesos cuánticos en la fotosíntesis (Collini et al. 2010), y a efectos cuánticos asociados a la detección del campo magnético terrestre por las aves, por algunos insectos e, incluso, en respuestas fisiológicas de ciertas plantas (Ritz et al. 2004; Ahmad et al. 2007; Gauger et al. 2011).

Considero que todos estos descubrimientos, nos hacen poner la atención en la dinámica de los procesos moleculares, y en la especial forma de auto-organización que presentan las estructuras y procesos moleculares que forman parte de los sistemas vivientes (Henbest et al. 2008; Maeda et al. 2008).

Pues lo que se estaría indicando, es el uso de los fenómenos cuánticos (nivel micro de la realidad) por los sistemas vivos (en procesos y estructuras macroscópicas), para diferentes actividades y fines en las interrelaciones entre sí, y con su medio ambiente.

Mínimamente, estos reportes científicos están señalando el descubrimiento de un *accionar de lo macroscópico sobre lo microscópico*, para su uso en procesos y actividades macroscópicas.

En este sentido, mi propuesta de un *Fisicalismo de Procesos*, considera que no es posible referirnos a un nivel micro-físico, el que a su vez estuviera constituido por micro-partes inmutables (en esencia invariables), y que fueran portadoras de aquellas características fundamentales que determinarían, de una vez y para siempre, las características de los elementos del nivel macro. Por tanto, los aspectos básicos de mi propuesta sobre un fisicalismo de procesos, serían los siguientes:

- **PP1.-** Las características de los elementos del nivel macro serían determinadas por las características que poseerían sus micro-partes al interactuar unas con otras, y en determinadas condiciones. Es decir, **el orden** en que se producen las interacciones, resulta de importancia crucial para la aparición de una determinada característica en el nivel macro-físico.

- **PP2.-** Las regularidades necesarias para la determinación de las características macro-físicas son contexto-dependientes.

A continuación exploramos, de manera inicial y tentativa, algunas de sus posibles consecuencias.

En primer lugar, el fisicalismo de procesos nos dice que los aspectos más primarios o más “micro” de la realidad son físicos, y esto, es un aspecto básico de lo real.

En segundo lugar, se deduce un principio metafísico general que visualiza a algo como causal, tanto en virtud de sus condiciones necesarias, como en virtud de sus condiciones suficientes.

Como parte de las condiciones necesarias de ‘aquello que es causa’, tenemos a los componentes más básicos de lo físico.

Y como parte de las condiciones suficientes, tendríamos al grupo de comportamientos del conjunto total de procesos que engloba esa dinámica de estados físicos. Pues, sostengo que es a partir de la interacción e interrelación entre los procesos en donde podemos observar la emergencia de propiedades.

Así, resulta que estas propiedades que emergerían tendrían una naturaleza de tipo relacional.

En efecto, son las propiedades relacionales las que emergen de una clase específica de interacción, entre ciertos tipos procesos. Es decir, no cualquier clase de proceso, interactuando con cualquiera otro(s) proceso(s), enfrentados a cualquier tipo de interacción(es), generará una misma clase de propiedad relacional.

Es decir, que ciertas dinámicas de interacción restringirían sus grados de libertad, respecto a las dinámicas de esos mismos procesos moleculares tomados aisladamente.

Esta restricción en los grados de libertad de los procesos en ciertos tipos de interacción, podría conllevar a la generación de “constricciones” en el comportamiento global del grupo de procesos en interacción.

Emergería, por tanto, un espacio de interacciones y un conjunto de propiedades relacionales, que no serían posibles de acceder por algún otro tipo de interacción dado entre otros procesos moleculares.

### ***Sobre la emergencia de la función biológica***

En el tercer capítulo, me dediqué al estudio de las consecuencias racionales que se desprenden de mi modelo de sistema prebiótico, respecto de otro problema fundamental: en qué momento apareció (y de qué tipo es), la forma de funcionalidad biológica más ancestral.

Como cuestión previa, me dediqué a presentar brevemente a la aproximación etiológica y a la aproximación sistémica, mostrando esquemáticamente sus fortalezas y problemas.

Seguidamente, presenté los usos del concepto de función en las ciencias biológicas, siguiendo a Wouters (2003a), que distinguía hasta cuatro formas diferentes en que el término función aparece en los estudios sobre los organismos vivos.

También, como antesala a mi propuesta sobre las funciones biológicas, presenté los argumentos, y realizamos un análisis crítico, de una propuesta organizacional sobre las funciones.

En mi propuesta sobre origen de las funciones en la era prebiótica, afirmo que si mi modelo de sistema prebiótico es aquel que explica naturalísticamente que emergiera el mundo prebiótico, entonces, desde el momento en que esta dinámica de comportamientos complejos produjo el tipo de auto-organización dinámica de mi sistema dinámico informacional, en ese mismo momento, las funciones emergen por primera vez en el universo.

Así, sostengo que el tipo de funcionalidad que se da a lugar en el sistema dinámico informacional, es la primera forma de función, la más ancestral funcionalidad que surge de manera naturalista.

En primer lugar, esta originaria forma de función prebiótica emerge en los procesos, y en la interrelación entre ellos.

En segundo lugar, esto se produce en el interior de una red integrada de procesos moleculares, en la medida que, esa red integrada de procesos se mantenga, por sí misma, en los estados de alejamiento del equilibrio.

En tercer lugar, el tipo de función biológica que defiende, es el efecto que realiza un determinado tipo de proceso, que contribuye efectivamente, en mantener al sistema en el estado que le da su razón de ser: el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Así, un proceso **P** tiene la función **F** en el sistema **S**, si y sólo si:

(1) **P** es un tipo específico de proceso constitutivo, que es producido y mantenido, por un sistema dinámico **S** alejado del equilibrio termodinámico.

(2) El sistema **S** permanece en el estado de alejamiento del equilibrio, por medio de un tipo de proceso constitutivo que es -al mismo tiempo-, una constricción del sistema.

(3) **F** es el efecto de **P** que contribuye efectivamente a que **S** se mantenga en (o incremente el), estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

De este modo, la función prebiótica que acabo de esbozar, permite dar cuenta de algunos aspectos que se reclaman en la adscripción funcional, tales como, la componente normativa, la componente teleológica y el malfuncionamiento.

Finalmente, tengo que indicar que en trabajos futuros me dedicaré al ahondamiento de esta propuesta inicial sobre las funciones biológicas. A parte de una mayor exploración en las componentes que acabo de mencionar, investigaré cuáles podrían ser otras consecuencias de mi modelo de sistema prebiótico.

En particular, investigaré si mi modelo de sistema dinámico prebiótico se puede pronunciar en los casos de aparición de nuevas funciones, en las situaciones en que se produce un cambio funcional.

Y de manera interesante, si como producto de su evolución, se produciría la aparición de módulos funcionales –la co-funcionalidad que se observa grandemente en el campo de la genómica– (Chae et al. 2012; Kepes et al. 2012).



### ***Dinámica evolutiva temprana***

Quiero empezar esta parte final de la discusión de mi tesis, señalando que si bien la evolución biológica requiere de la mutación, la selección y la replicación. Visto desde sus orígenes, estas funciones no necesariamente podrían haber estado en estrecha vinculación interdependiente.

En particular, sería posible dissociar completamente la fuente de ventaja selectiva, del proceso de replicación molecular (Morowitz and Smith 2007).

Por tanto, afirmar que la evolución por selección natural fue la forma evolutiva involucrada en los cambios de adaptación de los diferentes sistemas que aparecieron en los primeros tiempos, no parece ser del todo adecuada.

Así, es posible plantear que en los albores de la época prebiótica, habría habido otro tipo de evolución que permitió la aparición de la evolución por selección natural.

Por un lado, los resultados de estudios comparativos parecen sugerir que los tres grandes diseños celulares que existen actualmente, no alcanzaron simultáneamente el estado de célula moderna.

Esto implicaría la situación de estar en posesión del arsenal macromolecular necesario para la replicación, la transcripción y la producción de los mecanismos de traducción genética (Woese 2002).

Así, entidades celulares que carecían de la capacidad para establecer linajes evolutivos podrían haber sido los sistemas que poblaron la época anterior a la que se materializaron las así llamadas células modernas.

Como consecuencia, el motor evolutivo más importante durante ese período remoto podría haber sido la *'transferencia horizontal de genes'* (Goldenfeld and Woese 2007).

Más aún, parecería ser necesario tratar de responder a ciertas preguntas fundamentales para poder tentar entender la evolución celular. Y la más importante de ellas, hace referencia al origen de las grandes novedades necesarias para la construcción de los increíblemente coordinados andamios macromoleculares, que constituyen la organización celular moderna (Woese 2004).

Respecto de este punto, en mi modelo protocelular la 'capacidad de innovación' (y por tanto, de evolucionar), es debido a su sostenida y robusta dinámica intrínseca de auto-organización.

Y dado que mi sistema tiene la capacidad de permanecer en un estado lejos del equilibrio termodinámico, por sí mismo, dentro de su dinámica de auto-organización, se podría conjeturar que su 'potencial innovador' no puede ser gobernado más que por su cohesiva dinámica forma de existir.

Una vez que mi sistema se ve enfrentado a un específico problema medioambiental, las diferentes posibles soluciones (estrategias) producidas, no son nada más que el mantenimiento de la integridad de su dinámica organización, es decir, el mantenimiento de la estrecha interrelación entre sus tres tipos de procesos.

Los componentes de los procesos podrían ser cambiados, pero en su conjunto, los descendientes del sistema tenderían a preservar sus propiedades más fundamentales, que son compatibles con su supervivencia y con el estado lejos del equilibrio termodinámico.

En otras palabras, la aparición de una evolución prebiótica adaptable habría implicado algún tipo de cambio de algún componente (o de algún proceso), que habría producido en estos sistemas un beneficio en (o habría mantenido) el estado de alejamiento del equilibrio termodinámico.

Por lo tanto, de todos los mecanismos que se han identificado, se podría postular que el más plausible sería que formas más primitivas de los agentes de transferencia de genes, estuvieron actuando en tempranos intercambios de material en estas protocélulas.

Además, el compartir ciertos componentes y estructuras adquiridos y transmitidos de esta manera, posiblemente, fue la forma en que las poblaciones más antiguas de protocélulas evolucionaron.

Tal vez esta fue la forma en que nuevas estructuras, nuevos componentes, redes moleculares, características, y propiedades se generaron en las primeras protocélulas.

Estas últimas referencias, nos darían una indicación de cómo (i) los fundamentos de las redes de señalización, (ii) la primera aparición de lo agencial prebiótico, (iii) la aparición de computaciones biológicas y de estructuras 'small world' en las comunidades de protocélulas, podría llevarnos a proponer un forma lamarckiana de la herencia en los albores de la evolución prebiótica (Riofrio 2012).

# **BIBLIOGRAFÍA**

- Abby S.S., Tannier E., Gouy M., Daubin V. (2012) Lateral gene transfer as a support for the tree of life. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109(13): 4962-4967.
- Adams F.R. (1979) A Goal-State Theory of Function Attributions. *Canadian Journal of Philosophy*, 9(3): 493-518.
- Aguirre A., Johnson M.C. (2008) Towards observable signatures of other bubble universes. II. Exact solutions for thin-wall bubble collisions. *Phys. Rev. D*, 77: 123536.
- Ahmad M., Galland P., Ritz T., Wiltschko R., Wiltschko W. (2007) Magnetic intensity affects cryptochrome-dependent responses in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, 225: 615-624.
- Alexander S. (1920) *Space, time, and deity, Vol. 2*. London: Macmillan.
- Allen C., Bekoff M., Lauder G.V. (eds.) (1997) *Nature's Purposes: Analyses of Function and Design in Biology*. MIT Press, Cambridge.
- Alm E., Arkin A.P. (2003) Biological networks. *Current Opinion in Structural Biology*, 13: 193-202.
- Amendola L., Tsujikawa S. (2010) *Dark Energy: Theory and Observations*. Cambridge University Press.
- Anderson P.W. (1972) More is Different. *Science*, 177: 393–396.
- Ariew A., Cummins R., Perlman M. (eds.) (2002) *Functions: New Essays in the Philosophy of Psychology and Biology*. Oxford University Press, Oxford.

- Arnold M.L. (1997) *Natural hybridization and evolution*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Arnold M.L. (2006) *Evolution through genetic exchange*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Artiga M. (2011) Re-Organizing Organizational Accounts of Function. *Applied Ontology*, 6: 105–124.
- Assis R., Kondrashov A.S. (2009) Rapid repetitive element-mediated expansion of piRNA clusters in mammalian evolution. *Proc Natl Acad Sci USA*, 106(17): 7079–7082.
- Bachmann P.A., Luisi P.L., Lang J. (1992) Autocatalytic self-replicating micelles as models for prebiotic structures. *Nature*, 357: 57–59.
- Bachmann P.A., Walde P., Luisi P.L., Lang J. (1990) Self-replicating reverse micelles and chemical autopoiesis. *J Am Chem Soc*, 112:8200-8201.
- Bada J.L., Miller S.L., Zhao M. (1995) The stability of amino acids at submarine hydrothermal vent temperatures. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 25: 111–118.
- Bak P. (1996) *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality*. Springer, Berlin.
- Bakker H. J., Nienhuys H.-K. (2002) Delocalization of protons in liquid water. *Science*, 297: 587-590.
- Ball P. (2008) Water - an enduring mystery. *Nature*, 452: 291-292.
- Barabasi A.L. (2009) Scale-free networks: a decade and beyond. *Science*, 325: 412–413.

- Barabási A.L., Oltvai Z.N. (2004) Network biology: Understanding the cell's functional organization. *Nature Reviews Genetics*, 5: 101–113.
- Bar-Yam Y. (1997) *Dynamics of Complex Systems*. Addison-Wesley.
- Bar-Yam Y. (2004) A Mathematical Theory of Strong Emergence Using Multiscale Variety. *Complexity*, 9(6): 15-24.
- Basler G., Grimbs S., Ebenhöf O., Selbig J., Nikoloski Z. (2012) Evolutionary significance of metabolic network properties. *J. R. Soc. Interface*, 9: 1168-1176.
- Bechtel W., Richardson R.C. (1993) *Discovering complexity: Decomposition and localization as strategies in scientific research*. Princeton University Press.
- Bedau M.A., Humphreys P. (2008) *Emergence: Contemporary Readings in Philosophy and Science*. MIT Press.
- Ben-Jacob E. (2009) Learning from bacteria about natural information processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1178: 78–90.
- Berger-Wolf T.Y., Przytycka T.M., Singh M., Slonim D. (2010) Dynamics of Biological Networks: Session Introduction. *Pacific Symposium on Biocomputing*, 15:120-122.
- Bernath P.F. (2002) The spectroscopy of water vapour: Experiment, theory and applications. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 4: 1501-1509.
- Bernstein M.P., Dworkin J.P., Sandford S.A., Cooper G.W., Allamandola L.J. (2002) Racemic amino acids from the

ultraviolet photolysis of interstellar ice analogues. *Nature*, 416: 401-403.

- Bickhard M.H. (2004) Process and Emergence: Normative Function and Representation. *Axiomathes — An International Journal in Ontology and Cognitive Systems*, 14: 135-169.
- Bigelow J., Pargetter R. (1987) Functions. *Journal of Philosophy*, 84(4): 181-196.
- Bijleveld A.I., Egas M., van Gils J.A., Piersma T. (2010) Beyond the information centre hypothesis: communal roosting for information on food, predators, travel companions and mates? *Oikos*, 119: 277-285.
- Block N. (1980) Troubles with Functionalism. In N. Block (ed.) *Readings in the Philosophy of Psychology, Volume 1*, pp. 268-305. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Boccaletti S., Latora V., Moreno Y. (2009) *Handbook on biological networks (lecture notes in complex systems)*. Singapore: World Scientific.
- Boorse C. (1976) Wright on Functions. *Philosophical Review*, 85(1): 70-86.
- Bork P., Jensen L.J., von Mering C., Ramani A.K., Lee I., Marcotte E.M. (2004) Protein interaction networks from yeast to human. *Current Opinion in Structural Biology*, 14: 292–299.
- Boto L. (2009) Horizontal gene transfer in evolution: Facts and challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 277: 819–827.



- Brack A. (ed.) (1998) *The Molecular Origin of Life*. Cambridge University Press.
- Bradford J.A., Dill K.A. (2007) Stochastic innovation as a mechanism by which catalysts might self-assemble into chemical reaction networks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104(24): 10098-10103.
- Brandon R.N. (1990) *Adaptation and environment*. Princeton University Press.
- Brookes J.C., Hartoutsiou F., Horsfield A.P., Stoneham A.M. (2007) Could Humans Recognize Odor by Phonon Assisted Tunneling? *Phys Rev Letters*, 98: 038101.
- Brosius J. (2003) The contribution of RNAs and retroposition to evolutionary novelties. *Genetica*, 118: 99–115.
- Brown H.R., Harré R. (1988) *Philosophical foundations of Quantum Field Theory*. Oxford University Press.
- Brudno Y., Birnbaum M.E., Kleiner R.E., Liu D.R. (2010) An in vitro translation, selection and amplification system for peptide nucleic acids. *Nature Chemical Biology*, 6:148–155.
- Budin I., Szostak J.W. (2011) Physical effects underlying the transition from primitive to modern cell membranes. *Proc Natl Acad Sci USA*, 108: 5249-5254.
- Buller D.J. (1998) Etiological theories of function: A geographical survey. *Biology and Philosophy*, 13: 505–527.
- Buller D.J. (ed.) (1999) *Function, Selection and Design*. State University of New York Press, Albany, NY.

- Cairns-Smith A.G. (1985) *Seven Clues to the Origin of Life*. Cambridge University Press.
- Cairns-Smith A.G. (2003) Fine-tuning in living systems: early evolution and the unity of biochemistry. *International Journal of Astrobiology*, 2 (2): 87–90.
- Campbell R., Bickhard M.H. (2011) Physicalism, Emergence and Downward Causation. *Axiomathes*, 21 (1): 33-56.
- Canfield J. (1964) Teleological explanation in biology. *British Journal for the Philosophy of Science*, 14: 285–295.
- Canfield J. (1965) Teleological explanation in biology: A reply. *British Journal for the Philosophy of Science*, 15: 327–331.
- Cao T.Y. (1997) Introduction: Conceptual issues in QFT. In T.Y. Cao (ed.) *Conceptual Developments of 20th Century Field Theories*, pp. 1-27. Cambridge University Press.
- Cao T.Y. (1999) *Conceptual Foundations of Quantum Field Theories*. Cambridge University Press.
- Capra F. (1996) *The Web of Life: A New Scientific Understanding of Living Systems*. New York: Anchor Books.
- Cardelli L. (2005) Abstract machines of systems biology. In C. Priami (ed.) *Transactions on computational systems biology III*, pp. 145–168. New York: Springer.
- Carletti T., Serra R., Poli I., Villani M., Filisetti A. (2008) Sufficient conditions for emergent synchronization in protocell models. *Journal of Theoretical Biology*, 254: 741–751.

- Carnap R. (1932/33) *Psychology in Physical Language*. In A.J. Ayer (ed.) *Logical Positivism*, pp. 165–198. New York: The Free Press, 1959.
- Chae L., Lee I., Shin J., Rhee S.Y. (2012) Towards understanding how molecular networks evolve in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 15:177–184.
- Chalmers D.J. (2006) Strong and Weak Emergence. In P. Clayton & P. Davies (eds.) *The Re-emergence of Emergence*. Oxford University Press.
- Chen S.-H., Liu L., Chu X., Zhang Y., Fratini E., Baglioni P., Faraone A., Mamontov E. (2006) Experimental Evidence of Fragile-to-Strong Dynamic Crossover in DNA Hydration Water. *J. Chem. Phys.*, 125: 171103.
- Cheng Y.C., Fleming G.R. (2009) Dynamics of light harvesting in photosynthesis. *Annu. Rev. Phys. Chem.*, 60: 241-262.
- Christensen W.D., Bickhard M.H. (2002) The Process Dynamics of Normative Function. *Monist*, 85(1): 3-28.
- Clark A. (1996) Happy Couplings: Emergence and explanatory interlock. In M. Boden (ed.) *The Philosophy of Artificial Life*. Oxford University Press.
- Collier J. (1986) Entropy in evolution. *Biology and Philosophy*, 1: 5-24.
- Collier J. (2000) Autonomy and process closure as the basis for functionality. In J.L.R. Chandler & G. van de Vijver (eds.) *Closure: Emergent Organizations and their Dynamics*. Annals of the New York Academy of Science, 901: 280–290.

- Collier J. (2004) Self-organization, Individuation and Identity. *Revue Internationale de Philosophie*, 59: 151-172.
- Collier J., Muller S. (1998) The dynamical basis of emergence in natural hierarchies. In G. Farre & T. Oksala (eds.) *Emergence, Complexity, Hierarchy and Organization*, Selected and Edited Papers from the ECHO III Conference, Acta Polytechnica Scandinavica, MA91. Finish Academy of Technology.
- Collini E., Wong C.Y., Wilk K.E., Curmi P.M., Brumer P., Scholes G.D. (2010) Coherently wired light-harvesting in photosynthetic marine algae at ambient temperature. *Nature*, 463(7281): 644-647.
- Cooper G., Kimish N., Belisle W., Sarinana J., Brabham K., Garrel L. (2001) Carbonaceous meteorites as a source of sugar-related organic compounds for the early Earth. *Nature*, 414: 879–883.
- Craver C.F. (2001) Role functions, mechanisms, and hierarchy. *Philosophy of Science*, 68: 53–74.
- Csete M.E., Doyle J.C. (2002) Reverse Engineering of Biological Complexity. *Science*, 295(5560): 1664 – 1669.
- Cummins R. (1975) Functional Analysis. *Journal of Philosophy*, 72(20): 741-765.
- Cunningham B. (2001) The Reemergence of Emergence. *Philosophy of Science*, 68: S62-S75. Supplement: Proceedings of the 2000 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association.

- Davidson D. (1970) Mental Events. In D. Davidson (ed.) *Essays on Actions and Events*, pp. 207–223. Oxford University Press.
- Davies D.G., Parsek M.R., Pearson J.P., Iglewski B.H., Costerton J.W., Greenberg E.P. (1998) The involvement of cell-to-cell signals in the development of a bacterial biofilm. *Science*, 280: 295–298.
- de Duve C. (1995) The Beginnings of Life on Earth. *American Scientist*, pp. 428-437.
- De Duve C. (2002) *Life Evolving, Molecules, Mind and Meaning*. Oxford University Press.
- Denning P.J. (2007) Computing is a natural science. *Communications of the ACM*, 50(7): 13–18.
- Dowell J.L. (2006) The physical: Empirical, not metaphysical. *Philosophical Studies*, 131(1): 25-60.
- Dretske F.L. (1988) *Explaining Behavior*. MIT Press, Cambridge.
- Dyson F. (1999) *Origins of Life*. Cambridge University Press.
- Edwards R.A., Rohwer F. (2005) Opinion: Viral metagenomics. *Nature Reviews Microbiology*, 3: 504–510.
- Eigen M. (1971) Self organization of matter and the evolution of biological macro molecules. *Naturwissenschaften*, 58: 465–523.
- Eigen M., Schuster P. (1979) *The Hypercycle: a Principle of Natural Self-organization*. Berlin, Springer-Verlag.

- Eiserer L.A. (1984) Communal roosting in birds. *Bird Behav.*, 5: 61-80.
- El-Hani C.N., Queiroz J., Emmeche C. (2006) A semiotic analysis of the genetic information system. *Semiotica*, 160: 1–68.
- Emmeche C. (2004) A-life, Organism and Body: the semiotics of emergent levels. In M. Bedeau, P. Husbands, T. Hutton, S. Kumar & H. Suzuki (eds.) *Workshop and Tutorial Proceedings. Ninth International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems (Alife IX)*, pp. 117-124.
- Enç B. (1979) Function Attributions and Functional Explanations. *Philosophy of Science*, 46(3): 343--365.
- Engel G.S., Calhoun T.R., Read E.L., Ahn T.K., Mancal T., Cheng Y.C., Blankenship R.E., Fleming G.R. (2007) Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems. *Nature*, 446(7137): 782-786.
- Ferris J.P. (2002) Montmorillonite catalysis of 30-50mer oligonucleotides: laboratory demonstration of potential steps in the origin of the RNA world. *Origins Life Evol Biosph*, 32:311-332.
- Filée J., Forterre P. (2005) Viral proteins functioning in organelles: A cryptic origin?. *Trends in Microbiology*, 13: 510–513.
- Fischbach M.A., Krogan N.J. (2010) The next frontier of systems biology: higher-order and interspecies interactions. *Genome Biol*, 11: 208.

- Fisher J., Henzinger T.A. (2007) Executable cell biology. *Nature Biotechnology*, 25: 1239–1249.
- Fisher J., Piterman N. (2010) The executable pathway to biological networks. *Briefings in Functional Genomics and Proteomics*, 9(1): 79–92.
- Fishkis M. (2007) Steps Towards the Formation of A Protocell: The Possible Role of Short Peptides. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 37(6): 537-553.
- Fisk M.R., Giovanonni S.J., Thorseth I.H. (1998) Alteration of oceanic volcanic glass: Textural evidence of microbial activity. *Science*, 281: 978–980.
- Fitz D., Reiner H., Rode B.M. (2007) Chemical evolution toward the origin of life. *Pure Appl. Chem.*, 79(12): 2101–2117.
- Fodor J. (1974) Special Sciences (Or, The Disunity of Science as a Working Hypothesis). *Synthese*, 28: 77-115.
- Fontana W., Buss L.W. (1994) The arrival of the fittest: Toward a theory of biological organization. *Bulletin of Mathematical Biology*, 56: 1–64.
- Forterre P. (2002) The origin of DNA genomes and DNA replication proteins. *Current Opinion in Microbiology*, 5: 525–532.
- Foster K., Parkinson K., Thompson C. (2007) What can microbial genetics teach sociobiology? *Trends in Genetics*, 23: 74–80.

- Foustoukos D.I., Seyfried Jr W.E. (2004) Hydrocarbons in hydrothermal vent fluids: the role of chromium-bearing catalysts. *Science*, 304:1002-1005.
- Fox S. (1988) *The emergence of life: Darwinian evolution from the inside*. New York: Basic Books.
- Francescotti R.M. (2007) Emergence. *Erkenntnis*, 67: 47-63.
- Frieman J., Turner M., Huterer D. (2008) Dark Energy and the Accelerating Universe. *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 46: 385-432.
- Frost L.S., Leplae R., Summers A.O., Toussaint A. (2005) Mobile genetic elements: The agents of open source evolution. *Nature Reviews Microbiology*, 3: 722–732.
- Furnes H., Banerjee N.R., Muehlenbachs K., Staudigel H., de Wit M. (2004) Early life recorded in Archean pillow lavas. *Science*, 304: 578–581.
- Furusawa C., Kaneko K. (2002) Origin of multicellular organisms as an inevitable consequence of dynamical systems. *Anatomical Record*, 268: 327–342.
- Gánti T. (2003) *Chemoton Theory*. Berlin: Springer.
- Gauger E.M., Rieper E., Morton J.J.L., Benjamin S.C., Vedral V. (2011) Sustained Quantum Coherence and Entanglement in the Avian Compass. *Phys. Rev. Lett.*, 106: 040503.
- Gilbert W. (1986) Origin of life: The RNA world. *Nature*, 319 (6055): 618.
- Gleiser M., Walker S.I. (2008) An extended model for the evolution of prebiotic homochirality: A bottom-up approach to



the origin of life. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 38: 293–315.

- Godfrey-Smith P. (1994) A modern history theory of functions. *Noûs*, 28:344–362.
- Goldenfeld N., Woese C. (2007) Biology's next revolution. *Nature*, 445: 369.
- Gong P., van Leeuwen C. (2004) Evolution to a small-world network with chaotic units. *Europhysics Letters*, 67(2) : 328–333.
- Grether G.F., Donaldson Z.R. (2007) Communal roost site selection in a neotropical harvestman: habitat limitation vs tradition. *Ethology*, 113: 290-300.
- Gribaldo S., Poole M. A., Daubin V., Forterre P., Brochier-Armanet C. (2010) The origin of eukaryotes and their relationship with the Archaea: Are we at a phylogenomic impasse?. *Nature Reviews Microbiology*, 8: 743–752.
- Griffiths D.J. (2004) *Introduction to Quantum Mechanics (2nd edition)*. Prentice Hall.
- Griffiths P.E. (1993) Functional analysis and proper functions. *British Journal for the Philosophy of Science*, 44: 409–422.
- Guillot B. (2002) A reappraisal of what we have learnt during three decades of computer simulations on water. *J. Mol. Liq.*, 101: 219-260.
- Haken H. (1978) *Synergetics: an introduction*. Springer, Berlin.

- Hammer B., Bassler B. (2003) Quorum sensing controls biofilm formation in *Vibrio cholerae*. *Molecular Microbiology*, 50: 101–104.
- Hazen R.M. (2001) Life's rocky start. *Scientific American*, pp. 63-71.
- Hazen R.M., Deamer D.W. (2007) Hydrothermal Reactions of Pyruvic Acid: Synthesis, Selection, and Self-Assembly of Amphiphilic Molecules. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 37(2): 143-152.
- Head-Gordon T., Hura G. (2002) Water structure from scattering experiments and simulation. *Chem. Rev.*, 102: 2651-2670.
- Helikar T., Konvalina J., Heidel J., Rogers J.A. (2008) Emergent decision-making in biological signal transduction networks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 105(6): 1913-1918.
- Hempel C. (1949) The Logical Analysis of Psychology. In H. Feigl & W. Sellars (eds.) *Readings in Philosophical Analysis*, pp. 373–384. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Henbest K.B., Maeda K., Hore P.J., Joshi M., Bacher A., Bittl R., Weber S., Timmel C.R., Schleicher E. (2008) Magnetic-field effect on the photoactivation reaction of *Escherichia coli* DNA photolyase. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 105: 14395-14399.
- Hendrick-Jansen H. (1996) *Catching Ourselves in the Act: situated activity, interactive emergence, evolution, and human thought*. MIT Press.

- Herd C.D.K., Blinova A., Simkus D.N., Huang Y., Tarozo R., O'D. Alexander C.M., Gyngard F., Nittler L.R., Cody G.D., Fogel M.L., Kebukawa Y., Kilcoyne A.L.D., Hilts R.W., Slater G.F., Glavin D.P., Dworkin J.P., Callahan M.P., Elsilá J.E., De Gregorio B.T., Stroud R.M. (2011) Origin and Evolution of Prebiotic Organic Matter As Inferred from the Tagish Lake Meteorite. *Science*, 332 (6035): 1304-1307.
- Heylighen F., Bollen J., Riegler A. (Eds.) (1999) *The Evolution of Complexity*. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Hinde R.A. (1975) The concept of function. In: G.R. Baerends, C. Beer & A. Manning (eds.) *Function and Evolution in Behavior*. Clarendon, Oxford. pp. 3–15.
- Hirsch J.E. (2008) Spin Meissner effect in superconductors and the origin of the Meissner effect. *Europhys. Lett.*, 81: 67003.
- Hoffmeyer J. (1996) *Signs of Meaning in the Universe*. Bloomington: Indiana University Press.
- Holland J. H. (1995) *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Addison-Wesley.
- Holland J. H. (1998). *Emergence: From Chaos to Order*. Basic Books.
- Horan B.L. (1989) Functional explanations in sociobiology. *Biology and Philosophy*, 4(2): 131–158, 205–228.
- Hu Y., Holden J.F. (2006) Citric Acid Cycle in the Hyperthermophilic Archaeon *Pyrobaculum islandicum* Grown

Autotrophically, Heterotrophically, and Mixotrophically with Acetate. *J Bacteriol.*, 188(12): 4350–4355.

- Humphreys P. (1996) Aspects of Emergence. *Philosophical Topics*, 24: 53-70.
- Huterer D., Turner M.S. (1999) Prospects for Probing the Dark Energy via Supernova Distance Measurements. *Phys. Rev. D*, 60: 081301.
- Ideker T., Krogan N.J. (2012) Differential network biology. *Molecular Systems Biology*, 8:565.
- Ingber D.E. (2000) The origin of cellular life. *Bioessays*, 22(12):1160-1170.
- Jablonka E. (2002) Information: Its interpretation, its inheritance, and its sharing. *Philosophy of Science*, 69: 578-605.
- Jablonka E., Lamb M.J. (2005) *Evolution in four dimensions: Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Joyce G.F. (2012) Toward an Alternative Biology. *Science*, 336(6079): 307-308.
- Karatan E., Watnick P. (2009) Signals, regulatory networks, and materials that build and break bacterial biofilms. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 73(2): 310–347.
- Kauffman S. (1993) *The Origins of Order: Self Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press.
- Kauffman S. (2000) *Investigations*. Oxford University Press.

- Kauffman S., Logan R.K., Este R., Goebel R., Hobill D., Shmulevich I. (2008) Propagating organization: an enquiry. *Biology and Philosophy*, 23(1): 27-45.
- Keefe A.D., Newton G.L., Miller S.L. (1995) A possible prebiotic synthesis of pantetheine, a precursor of coenzyme A. *Nature*, 373: 683-685.
- Keeton W.T., Gould J.L. (1993) *Biological science*. New York: Norton.
- Kepes F., Jester B.C., Lepage T., Rafiei N., Rosu B., Junier I. (2012) The layout of a bacterial genome. *FEBS Letters*, 586(15): 2043–2048.
- Khan A., Khan M.R., Khan M.F., Khanam F. (2001) A liquid water model that explains the variation of surface tension of water with temperature. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 40:1467-1471.
- Kim J. (1993) *Supervenience and Mind: Selected Philosophical Essays*. Cambridge University Press.
- Kim J. (2006) Emergence: Core ideas and issues. *Synthese*, 151: 547-559.
- Kirschner M., Gerhart J. (1998) Evolvability. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95: 8420–8427.
- Kitano H. (2002) Systems Biology: A Brief Overview. *Science*, 295(5560): 1662-1664.
- Kitcher P. (1993) Function and design. *Midwest Studies in Philosophy*, 18: 379–397.
- Klee R. (1984) Micro-Determinism and Concepts of Emergence. *Philosophy of Science*, 51: 44-63.

- Kleinberg J.M. (2000) Navigation in a small world. *Nature*, 406: 845.
- Klemm K., Bornholdt S. (2005) Topology of biological networks and reliability of information processing. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102 (51): 18414-18419.
- Kondepudi D., Prigogine I. (1998) *Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures*. John Wiley & Sons.
- Koonin E.V., Wolf Y.I. (2009) Is evolution Darwinian or/and Lamarckian? *Biology Direct*, 4: 42.
- Kosztin I., Schulten K. (2004) Fluctuation-driven molecular transport through an asymmetric membrane channel. *Physical Review Letters*, 93: 238102.
- Krammer E.M., Bernad S., Ullmann G.M., Hickman A., Sebban P. (2011) Chemical Evidence for the Dawn of Life on Earth. *Aust. J. Chem.*, 64: 16–22.
- Kristensen D.M., Mushegian A.R., Dolja V.V., Koonin E.V. (2010) New dimensions of the virus world discovered through metagenomics. *Trends in Microbiology*, 18(1): 11–19.
- Kull K. (2005) A brief history of Biosemiotics. *Journal of Biosemiotics*, 1: 1-34.
- Laughlin R. (2005) *A Different Universe: Reinventing Physics from the Bottom Down*. Basic Books.
- Lederberg J., Tatum E.L. (1946) Novel genotypes in mixed cultures of biochemical mutants of bacteria. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 11: 113–114.

- Leman L.J., Orgel L.E., Ghadiri M.R. (2004) Carbonyl sulfide-mediated prebiotic formation of peptides. *Science*, 306(5694): 283–286.
- Leman L.J., Orgel L.E., Ghadiri M.R. (2006) Amino acid dependent formation of phosphate anhydrides in water mediated by carbonyl sulfide. *Journal of the American Chemical Society*, 128: 20–21.
- Levine R.D. (2005) *Molecular reaction dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lewis D. (1983) New Work for a Theory of Universals. *Australasian Journal of Philosophy*, 61(4): 343–377.
- Lewis D. (1986) *On the Plurality of Worlds*. Oxford: Blackwell.
- Lewis S.E. (1995) Roost fidelity of bats: a review. *J. Mammal.*, 76: 481-496.
- Lewontin R.C. (1970) The units of selection. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1: 1-18.
- Linde A.D. (1990) *Inflation and Quantum Cosmology*. Academic Press, Boston.
- Lloyd S, (2000) Ultimate physical limits to computation. *Nature*, 406: 1047-1054.
- Lloyd S. (2006) *Programming the Universe*. Knopf.
- Longy F. (2009) How Biological, Cultural, and Intended Functions Combine. In U. Krohs & P. Kroes (eds.) *Functions in Biological and Artificial Worlds*, pp. 51- 68. London: The MIT Press.

- Luisi P. L. (2006) *The Emergence of Life: From Chemical Origins to Synthetic Biology*. Cambridge University Press.
- Luisi P.L., Stano P., Rasi S., Mavelli F. (2004) A possible route to prebiotic vesicle reproduction. *Artificial Life*, 10(3): 297–308.
- Lundberg E., Fagerberg L., Klevebring D., Matic I., Geiger T., Cox J., Algenäs C., Lundberg J., Mann M., Uhlen M. (2010) Defining the transcriptome and proteome in three functionally different human cell lines. *Molecular Systems Biology*, 6: 450.
- Macklem P.T. (2008) Emergent phenomena and the secrets of life. *Journal of Applied Physiology*, 104(6): 1844-1846.
- Maeda K., Henbest K.B., Cintolesi F., Kuprov I., Rodgers C.T., Liddell P.A., Gust D., Timmel C.R., Hore P.J. (2008) Chemical compass model of avian magnetoreception. *Nature*, 453(7193): 387-390.
- Maes P. (ed.) (1991) *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice From Biology to Engineering and Back*. MIT Press.
- Makarova K.S., Grishin N.V., Shabalina S.A., Wolf Y.I., Koonin, E.V. (2006) A putative RNA-interference-based immune system in prokaryotes: Computational analysis of the predicted enzymatic machinery, functional analogies with eukaryotic RNAi, and hypothetical mechanisms of action. *Biology Direct*, 1, 7.



- Maksyutenko P., Rizzo T.R., Boyarkin O.V. (2006) A direct measurement of the dissociation energy of water. *J. Chem. Phys.*, 125: 181101.
- Malnic B., Godfrey P.A., Buck L.B. (2004) The human olfactory receptor gene family. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 101: 2584-2589.
- Mansy S.S., Schrum J.P., Krishnamurthy M., Tobé S., Treco D.A., Szostak J.W. (2008) Template-directed synthesis of a genetic polymer in a model protocell. *Nature*, 454: 122–125.
- Masuda N., Aihara K. (2004) Global and local synchrony of coupled neurons in small-world networks. *Biological Cybernetics*, 90(4): 302–309.
- Maturana H., Varela F. (1973) *Autopoiesis: the Organization of the Living*. Reidel.
- Maynard Smith J. (2000) The Concept of Information in Biology. *Philosophy of Science*, 67: 177–194.
- Maynard Smith J., Szathmáry E. (1999) *The Origins of Life*. Oxford University Press.
- McClintock B. (1950) The Origin and Behavior of Mutable Loci in Maize. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 36 (6): 344–355.
- McDaniel L.D., Young E., Delaney J., Ruhnau F., Ritchie K.B., Paul J.H. (2010) High frequency of horizontal gene transfer in the Oceans. *Science*, 330: 50.
- McLaughlin B. (1992) The Rise and Fall of British Emergentism. In A. Beckermann, H. Flohr & J. Kim (eds.)

*Emergence or Reduction? Essay on the Prospects of Nonreductive Physicalism.* Berlin: Walter de Gruyter.

- McLaughlin P. (2001) *What Functions Explain: Functional Explanation and Self-Reproducing Systems.* Cambridge University Press.
- Menant C. (2003) Information and Meaning. *Entropy*, 5 (2): 193-204.
- Millikan R.G. (1984) *Language, Thought and Other Biological Categories.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Millikan R.G. (1986) Thoughts without laws; cognitive science with content. *Philosophical Review*, 95: 47–80.
- Millikan R.G. (1989) Biosemantics. *The Journal of Philosophy*, 86 (6): 281-297.
- Millikan R.G. (1989) In defense of proper functions. *Philosophy of Science*, 56: 288–302.
- Millikan R.G. (1993) *White Queen Psychology and Other Essays for Alice.* MIT Press, Cambridge.
- Millikan R.G. (2002) Biofunctions: Two Paradigms. In R. Cummins, A. Ariew & M. Perlman (eds.) *Functions: New Readings in the Philosophy of Psychology and Biology.* Oxford: Oxford University Press, pp. 113-143.
- Milo R., Itzkovitz S., Kashtan N., Levitt R., Shen-Orr, S., Ayzenshtat, I., Sheffer, M., Alon U. (2004) Superfamilies of Evolved and Designed Networks. *Science*, 303(5663):1538-1542.

- Mitchell M. (2009) *Complexity: A guided tour*. Oxford: Oxford University Press.
- Mitchell M. (2011) Biological computation. *ACM Ubiquity Symposium on "What is Computation?" Ubiquity, Issue February*, Article No. 3, pp. 1–7.
- Mitchell S.D. (1989) The causal background of functional explanation. *International Studies in the Philosophy of Science*, 3: 213–230.
- Mitchell S.D. (1995) Function, fitness and disposition. *Biology and Philosophy*, 10: 39–54.
- Monnard P.A., Apel C.L., Kanavarioti A., Deamer D.W. (2002) Influence of ionic inorganic solutes on self-assembly and polymerization processes related to early forms of life-implications for a prebiotic aqueous medium. *Astrobiology*, 2: 139–152.
- Morowitz H., Smith E. (2007) Energy flow and the organization of life. *Complexity*, 13(1): 51–59.
- Morowitz H.J. (1992) *Beginnings of cellular life: Metabolism recapitulates biogenesis*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Morowitz H.J., Srinivasan V., Smith E. (2010) Ligand field theory and the origin of life as an emergent feature of the periodic table of elements. *Biological Bulletin*, 219(1): 1–6.
- Mossio M., Saborido C., Moreno A. (2009) An Organizational Account of Biological Functions. *British Society for the philosophy of Science*, 60: 813-841.

- Munson R. (1972) Biological adaptation: a reply. *Philosophy of Science*, 39: 529–532.
- Nadell C.D., Xavier J.B., Levin S.A., Foster K.R. (2008) The evolution of quorum sensing in bacterial biofilms. *PLoS Biology*, 6(1): e14. doi:10.1371/journal.pbio.0060014.
- Neander K. (1991) Functions as Selected Effects: The Conceptual Analyst's Defense. *Philosophy of Science*, 58(2): 168-184.
- Neurath O. (1931) Physicalism: The Philosophy of the Vienna Circle. In R.S. Cohen & M. Neurath (eds.) *Philosophical Papers 1913–1946*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1983, pp. 48–51.
- Newman S.A., Bhat R. (2008) Dynamical patterning molecules: Physico-genetic determinants of morphological development and evolution. *Physical Biology*, 5(1): 015008.
- Nicolis G., Prigogine I. (1977) *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*. Wiley, New York.
- Noble D. (2002) The rise of computational biology. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 3(6): 459-463.
- Nowak M.A., Ohtsuki H. (2008) Prevolutionary dynamics and the origin of evolution. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 105(39): 14924–14927.
- Oberholzer T., Wick R., Luisi P.L., Biebricher C.K. (1995) Enzymatic RNA replication in self-reproducing vesicles: An approach to a minimal cell. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 207(1): 250–257.

- Ochman H., Lawrence J.G., Groisman E.A. (2000) Lateral gene transfer and the nature of bacterial innovation. *Nature*, 405: 299–304.
- O'Connor T., Wong H.Y. (2005) The Metaphysics of Emergence. *Nous*, 39: 658-678.
- Orgel L. (2000) A Simpler Nucleic Acid. *Science*, 290(5495): 1306–1307.
- Orgel L. (2000) Self-organizing biochemical cycles. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 97:12503-12507.
- Papineau D. (1987) *Reality and Representation*. Blackwell, Oxford.
- Paton R., Bolouri H., Holcombe W.M.L., Parish J.H., Tateson R. (eds.) (2004) *Computation in cells and tissues: Perspectives and tools of thought (natural computing series)*. Heidelberg: Springer.
- Pattee H.H. (2005) The Physics and Metaphysics of Biosemiotics. *Journal of Biosemiotics*, 1:281-301.
- Pattee H.H. (1972) Laws and constraints, symbols and languages. In C.H. Waddington (ed.) *Towards a Theoretical Biology 4, Essays*. Edinburgh University Press, pp. 248-258.
- Pattee H.H. (1995) Evolving self-reference: matter, symbols, and semantic closure. *Communication and Cognition - Artificial Intelligence*, 12(1-2): 9-28.
- Peak D., West J.D., Messinger S.A., Mott K.A. (2004) Evidence for complex, collective dynamics and emergent,

- distributed computation in plants. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 101 (4): 918–922.
- Peirce C.S. (1868) On a New List of Categories. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 7: 287-298. Eprint: <http://www.cspeirce.com/menu/library/bycsp/newlist/nl-frame.htm>
  - Perlman M. (2009) Changing the Mission of Theories of Teleology: Do's and Don't's for Thinking About Function. In U. Krohs & P. Kroes (eds.) *Functions in Biological and Artificial Worlds*, pp. 17-36. London: The MIT Press.
  - Pfeiffer T., Soyer O.S., Bonhoeffer S. (2005) The evolution of connectivity in metabolic networks. *PLoS Biol*, 3:1269–1275.
  - Pinheiro V. B., Taylor A. I., Cozens C., Abramov M., Renders M., Zhang S., Chaput J. C., Wengel J., Peak-Chew S.-Y., McLaughlin S. H., Herdewijn P., Holliger P. (2012) Synthetic Genetic Polymers Capable of Heredity and Evolution. *Science*, 336(6079): 341-344.
  - Plionis M., Terlevich R., Basilakos S., Bresolin F., Terlevich E., Melnick J., Chavez R. (2011) A strategy to measure the dark energy equation of state using the H ii galaxy Hubble function and X-ray active galactic nuclei clustering: preliminary results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.19247.x
  - Polanyi M. (1968) Life's irreducible structure. *Science*, 160: 1308-1312.

- Poole A., Phillips M., Penny D. (2003) Prokaryote and eukaryote evolvability. *Biosystems*, 69: 163–185.
- Portillo M.C., Gonzalez J.M. (2010) Differential effects of distinct bacterial biofilms in a cave environment. *Current Microbiology*, 60(6): 435–438.
- Prescher J.A., Bertozzi C.R. (2005) Chemistry in living systems. *Nature Chemical Biology*, 1:13 – 21.
- Prigogine I. (1980) *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*. W. H. Freeman & Co., San Francisco.
- Prigogine I., Nicolis G., Babloyantz A. (1972) Thermodynamics of evolution. *Physics Today*, 25(11): 23-28.
- Przytycka T.M., Singh M., Slonim D.K. (2010) Toward the dynamic interactome: it's about time. *Brief Bioinform*, 11:15-29.
- Putnam H. (1967) Psychological Predicates. In W.H. Capitan & D.D. Merrill (eds.) *Art, Mind and Religion*, 37-48. University of Pittsburgh Press.
- Quastler H. (1964) *The Emergence of Biological Organization*. Yale University Press.
- Quine W.V.O. (1975) On Empirically Equivalent Systems of the World. *Erkenntnis*, 9: 313–328.
- Radman M., Matic I., Taddei F. (1999) Evolution of Evolvability. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 870(1): 146 – 155.

- Ragan M.A., Beiko R.G. (2009) Lateral genetic transfer: Open issues. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1527): 2241–2251.
- Rasmussen S., Chen L., Stadler B.M.R., Stadler P.F. (2004) Proto-organism kinetics: Evolutionary dynamics of lipid aggregates with genes and metabolism. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 34(1–2): 171–180.
- Rees D.C., Howard J.B. (2003) The interface between biological and inorganic world iron-sulfur metalloclusters. *Science*, 300: 929–931.
- Remis J.P., Costerton J.W., Auer M. (2010) Biofilms: Structures that may facilitate cell–cell interactions. *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 4(9): 1085–1087.
- Ricardo A., Carrigan M.A., Olcott A.N., Benner S.A. (2004) Borate minerals stabilize ribose. *Science*, 303:196.
- Ricardo A., Szostak J.W. (2009) Origin of life on earth. *Sci Am.*, 301(3): 54-61.
- Riofrio W. (1998) La vida en sus orígenes: Las propiedades básicas. *20<sup>th</sup> World Congress of Philosophy, Boston, Ma.*
- Riofrio W. (2007) Informational dynamic systems: Autonomy, information, function. In C. Gershenson, D. Aerts & B. Edmonds (eds.) *Worldviews, science, and us: Philosophy and complexity*, pp. 232–249. Singapore: World Scientific.
- Riofrio W. (2008) Understanding the emergence of cellular organization. *Biosemitotics*, 1(3): 361–377.



- Riofrio W. (2010) On biological computing, information and molecular networks. In J. Vallverdú (ed.) *Thinking machines and the philosophy of computer science: Concepts and principles*, pp. 53–65. Global: IGI.
- Riofrio W. (2011) A molecular dynamic network: Minimal properties and evolutionary implications. In M. Burgin & G. Dodig-Crnkovic (eds.) *Information and computation*, pp. 307–330. Singapore: World Scientific.
- Riofrio W. (2012) Studies on Molecular Mechanisms of Prebiotic Systems. *Found Sci.*, 17(3): 277-289.
- Ritz T., Thalau P., Phillips J. B., Wiltschko R., Wiltschko W. (2004) Resonance effects indicate a radical-pair mechanism for avian magnetic compass. *Nature*, 429: 177-180.
- Rocheleau T., Rasmussen S., Nielsen P.E., Jacobi M.N., Ziock H. (2007) Emergence of protocellular growth laws. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 362: 1841–1845.
- Ross D.S. (2007) The viability of a nonenzymatic reductive citric acid cycle – kinetics and thermochemistry. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 37 (1): 61-65.
- Ruden D., Jamison D., Zeeberg B., Garfinkel M., Weinstein J., Rasouli P., Lu X. (2008) The EDGE hypothesis: Epigenetically directed genetic errors in repeat-containing proteins (RCPs) involved in evolution, neuroendocrine signaling, and cancer. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 29(3): 428–444.

- Rueger A. (2000) Physical emergence, diachronic and synchronic. *Synthese*, 124: 297-322.
- Ruiz-Mirazo K., Peretó J., Moreno A. (2004) A Universal Definition of Life: Autonomy and Open-Ended Evolution. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 34(3): 323-346.
- Ruiz-Mirazo K., Umerez J., Moreno A. (2008) Enabling conditions for 'open-ended evolution'. *Biol Philos*, 23: 67–85.
- Ruse M. (1971) Functional statements in biology. *Philosophy of Science*, 38: 87–95.
- Ryan R.F. (2007) Viruses as symbionts. *Symbiosis*, 44: 11–22.
- Sadot A., Fisher J., Barak D., Admanit Y., Stern M.J., Hubbard E.J., Harel D. (2008) Toward verified biological models. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 5(2): 223–234.
- Sakuragi Y., Kolter R. (2007) Quorum-sensing regulation of the biofilm matrix genes (*pel*) of *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Bacteriology*, 189: 5383–5386.
- Salmon, W.C. (1989) *Four Decades of Scientific Explanation*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Salthe S.N. (1975) *Evolutionary biology*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Salthe S.N. (1985) *Evolving hierarchical systems*. New York: Columbia University Press.
- Salthe S.N. (2002) Summary of the principles of hierarchy theory. *General Systems Bulletin*, 31: 13–17.

- Sandford S.A. (2008) Terrestrial Analysis of the Organic Component of Comet Dust. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 1(1): 549-578.
- Schaffer J. (2010) Monism: The Priority of the Whole. *Philosophical Review*, 119(1): 31-76.
- Schnitzer M.J. (2002) Biological computation: Amazing algorithms. *Nature*, 416: 683.
- Schopf J.W. (1993) Microfossils of the early Archaean apex chert: new evidence of the antiquity of life. *Science*, 260: 640-646.
- Schopf J.W., Kudryavtsev A.B., Agresti D.G., Wdowiak T.U., Czaja A.D. (2002) Laser-Raman imagery of Earth's earliest fossils. *Nature*, 416: 73–76.
- Schroder J. (1998) Emergence: Non-Deducibility or Downward Causation? *The Philosophical Quarterly*, 48: 433-452.
- Schrum J.S., Zhu T.F., Szostak J.W. (2010) The origins of cellular life. *Cold Spring Harb Perspect Biol.* doi:10.1101/cshperspect.a002212.
- Schuster P. (2000) Taming combinatorial explosion. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 97:7678-7680.
- Schwartz P.H. (1999) Proper function and recent selection. *Philosophy of Science*, 66: S210–S222.
- Searle J.R. (1992) *The Rediscovery of the Mind*. MIT Press.
- Sebeok T.A. (1991) *A Sign is Just a Sign*. Bloomington: Indiana University Press.

- Sebeok T.A. (1994) *Signs: An Introduction to Semiotics*. Toronto: University of Toronto Press.
- Seehausen O. (2004) Hybridization and adaptive radiation. *Trends Ecol. Evol.*, 19: 198–207.
- Segré D., Ben-Eli D., Deamer D.W., Lancet D. (2001) The lipid world. *Origins Life Evol. Biosph.*, 31: 119–145.
- Seife C. (2006) *Decoding the Universe*. Penguin Books.
- Shannon C.E. (1948) A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27: 379–423 and 623–656, July and October.
- Shapiro R. (2007) A simpler origin for life. *Sci Am.*, 296(6): 46-53.
- Shenhav B., Solomon A., Lancet D., Kafri R. (2005) Early Systems Biology and Prebiotic Networks. In C. Priami (ed.) *Transactions on Computational Systems Biology, LNCS 3380*, p. 14-27.
- Shin C.W., Kim S. (2006) Self-organized criticality and scale-free properties in emergent functional neural networks. *Physical Review E*, 74(4): 45101.
- Shoemaker S. (2001) Realization and Mental Causation. In C. Gillett & B. Loewer (eds.) *Physicalism and its Discontents*, pp. 74-98. Cambridge University Press.
- Siefert J.L. (2009) Defining the mobilome. In M.B. Gogarten, J.P. Gogarten & L.C. Olendzenski (eds.) *Horizontal gene transfer: Genomes in flux*, pp. 13–27. New York: Humana Press.

- Silberstein M. (1998) Emergence and the mind-body problem. *Journal of Consciousness Studies*, 5: 464–482.
- Silberstein M., McGeever J. (1999) The search for ontological emergence. *Philosophical Quarterly*, 50(195): 182-200.
- Singh P.K., Schaefer A.L., Parsek M.R., Moninger T.O., Welsh M.J., Greenberg E.P. (2000) Quorum-sensing signals indicate that cystic fibrosis lungs are infected with bacterial biofilms. *Nature*, 407: 762–764.
- Smart J.J.C. (1978) The Content of Physicalism. *Philosophical Quarterly*, 28: 239-241.
- Sober E. (1984) *The Nature of Selection: Evolutionary Theory in Philosophical Focus*. MIT Press.
- Solé R.V. (2009) Evolution and self-assembly of protocells. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 41: 274–284.
- Sorabji R. (1964) Function. *The Philosophical Quarterly*, 14 (57): 289-302.
- Sorek R., Kunin V., Hugenholtz P. (2008) CRISPR—A widespread system that provides acquired resistance against phages in bacteria and archaea. *Nature Reviews Microbiology*, 6(3): 181–186.
- Sperry R. (1986) Discussion: Macro- Versus Micro-Determination. *Philosophy of Science*, 53: 265-270.
- Sporns O., Honey C.J. (2006) Small worlds inside big brains. *Proc Natl Acad Sci USA*, 103(51): 19219–19220.

- Stanley H.E., Kumar P., Xu L., Yan Z., Mazza M.G., Buldyrev S.V., Chen S.-H., Mallamace F. (2007) The puzzling unsolved mysteries of liquid water: Some recent progress. *Physica A*, 386: 729-743.
- Strogatz S.H. (1994) *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Westview Press.
- Sungchul J. (2012) *Molecular Theory of the Living Cell: Concepts, Molecular Mechanisms, and Biomedical Applications*. Springer.
- Suttle C.A. (2007) Marine viruses—Major players in the global ecosystem. *Nature Reviews Microbiology*, 5: 801–812.
- Szathmáry E., Demeter L. (1987) Group selection of early replicators and the origin of life. *J. Theor. Biol.*, 128: 463–486.
- Szathmáry E., Santos M., Fernando C. (2005) Evolutionary Potential and Requirements for Minimal Protocells. *Top. Curr. Chem.*, 259: 167–211.
- Szostak D., Bartel P.B., Luisi P.L. (2001) Synthesizing life. *Nature*, 409: 387–390.
- Szostak J.W. (2009) Systems chemistry on early Earth. *Nature*, 459 (7244):171-172.
- Tanay A., Regev A., Shamir R. (2005) Conservation and evolvability in regulatory networks: The evolution of ribosomal regulation in yeast. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102(20): 7203–7208.

- Teller P. (1992) A Contemporary Look at Emergence. In A. Beckermann, H. Flohr & J. Kim (eds.) *Emergence or Reduction?* Berlin: Walter de Gruyter.
- Thomas C.M., Nielsen K.M. (2005) Mechanisms of, and barriers to, horizontal gene transfer between bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, 3: 711–721.
- Thomas J.A., Rana F.R. (2007) The Influence of Environmental Conditions, Lipid Composition, and Phase Behavior on the Origin of Cell Membranes. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 37(3): 267-285.
- Thomas P.J., Chyba C.F., McKay C.P. (eds.) (1997) *Comets and the Origins and Evolution of Life*. Springer Verlag.
- Tokmakoff A. (2007) Shining Light on the Rapidly Evolving Structure of Water. *Science*, 317(5834): 54-55.
- Trevino S.G., Zhang N., Elenko M.P., Luptak A., Szostak J.W. (2011) Evolution of functional nucleic acids in the presence of nonheritable backbone heterogeneity. *Proc Natl Acad Sci USA*. doi: 10.1073/pnas.1107113108.
- van Cleve J. (1990) Mind-dust or Magic? Panpsychism versus Emergence. *Philosophical Perspectives*, 4: 215-226.
- van Gulick R. (2001) Reduction, Emergence and Other Recent Options on the Mind/Body Problem: A Philosophic Overview. *Journal of Consciousness Studies*, 8 (9-10): 1-34.
- Van Zuilen M.A., Lepland A., Arrhenius G. (2002) Reassessing the evidence for the earliest traces of life. *Nature*, 418: 627–630.

- Velicer G.J. (2003) Social strife in the microbial world. *Trends in Microbiology*, 11: 330–337.
- Vermaas P.E. (2009) On Unification: Taking Technical Functions as Objective (and Biological Functions as Subjective). In U. Krohs & P. Kroes (eds.) *Functions in Biological and Artificial Worlds*, pp. 69-87. London: The MIT Press.
- Vermaas P.E., Houkes W. (2003) Ascribing functions to technical artefacts: A challenge to etiological accounts of functions. *British Journal for the Philosophy of Science*, 54(2): 261-289.
- Villarreal L.P., DeFilippis V.R. (2000) A hypothesis for DNA viruses as the origin of eukaryotic replication proteins. *Journal of Virology*, 74: 7079–7084.
- von Baeyer H.C. (2005) *Information: The New Language of Science*. Harvard University Press.
- von Neumann J. (1955) *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton University Press.
- Wächtershäuser G. (1988) Before enzymes and templates: Theory of surface metabolism. *Microbiological Reviews*, 52: 452-484.
- Walsh D.M. (1996) Fitness and function. *British Journal for the Philosophy of Science*, 47: 553–574.
- Walsh D.M., Ariew A. (1996) A taxonomy of functions. *Canadian Journal of Philosophy*, 26: 493–514. Reprinted in



- D.J. Buller (ed.) (1999) *Function, Selection, and Design*. Albany, New York: SUNY Press, pp. 257–279.
- Ward P., Zahavi A. (1973) The importance of certain assemblages of birds as 'information-centres' for food finding. *Ibis*, 115: 517–534.
  - Watt G. (2005) Modified nucleic acids on display. *Nature Chemical Biology*. doi:10.1038/nchembio005.
  - Watts D.J., Strogatz S.H. (1998) Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393: 440–442.
  - Weinberg S. (1997) What is Quantum Field Theory, and What Did We Think It Is? *Preprint: arXiv:hep-th/9702027v1*.
  - Weng J-K., Philippe R.N., Noel J.P. (2012) The Rise of Chemodiversity in Plants. *Science*, 336:1667-1670.
  - West S.A., Griffin A.S., Gardner A., Diggle S.P. (2006) Social evolution theory for microorganisms. *Nature Reviews Microbiology*, 4: 597–607.
  - Whitehead A.N. (1929) *Process and Reality*. Macmillan, New York.
  - Williams G.C. (1966) *Adaptation and natural selection*. Princeton University Press.
  - Wills P.R. (1994) Does Information Acquire Meaning Naturally? *Berichte der Bunsen-Gesellschaft- Physical Chemistry Chemical Physics*, 98: 1129–1134.
  - Wilson J. (2002) Causal Powers, Forces, and Superdupervenience. *Grazer Philosophische-Studien*, 63: 53-78.

- Wilson J.M. (2010) Non-reductive Physicalism and Degrees of Freedom. *British Journal for the Philosophy of Science*, 61: 279-311.
- Wimsatt W. (1996) Aggregativity: Reductive Heuristics for Finding Emergence. *Philosophy of Science*, 64: 372-384.
- Wimsatt W.C. (1972) Teleology and the logical structure of function statements. *Studies in History and Philosophy of Science*, 3: 1–80.
- Wittung P., Nielsen P.E., Buchardt O., Egholm M., Nordén B. (1994) DNA-like Double Helix formed by Peptide Nucleic Acid. *Nature*, 368(6471): 561–563.
- Woese C. (1998) The universal ancestor. *Proc Natl Acad Sci USA.*, 95: 6854–6859.
- Woese C. (2000) Interpreting the universal phylogenetic tree. *Proc Natl Acad Sci USA.*, 97(15): 8392–8396.
- Woese C. (2002) On the evolution of cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 99(13): 8742-8747.
- Woese C. (2004) A new biology for a new century. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 68(2): 173–186.
- Wolfe-Simon F., Switzer Blum J., Kulp T.R., Gordon G.W., Hoelt S.E., Pett-Ridge J., Stolz J.F., Webb S.M., Weber P.K., Davies P.C.W., Anbar A.D., Oremland R.S. (2011) A bacterium that can grow by using arsenic instead of phosphorus. *Science*, 332: 1163-1166.

- Wouters A. (2003a) Four notions of biological function. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 34(4): 633-668.
- Wouters A. (2003b) Philosophers on Function. *Acta Biotheoretica*, 51(3): 223-235.
- Wouters A. (2005) The function debate in philosophy. *Acta Biotheoretica*, 53(2): 123-151.
- Wright L. (1973) Functions. *The Philosophical Review*, 82(2): 139-168.
- Zimmer C. (2005) How and Where Did Life on Earth Arise? *Science*, 309(5731): 89.
- Zweers G.A. (1979) Explanation of structure by optimization and systemization. *Netherlands Journal of Zoology*, 29: 418–440.