

**Morfogenetismo: ¿Dónde estamos?**  
**Morphogenetic: where are we?**

**Antonio Correa Iglesias.**

Departamento de Filosofía y Estética, Universidad de las Artes, Cuba.

[ancoiglesias@gmail.com](mailto:ancoiglesias@gmail.com)  
[correa@ceniai.inf.cu](mailto:correa@ceniai.inf.cu)

**Resumen.**

La naturaleza morfológica de los procesos y fenómenos, garantiza el sentido onto y filogenético de estos. Pensar en las implicaciones epistemológicas de estos procesos así como en los modos a partir de los cuales se ha establecido en una tradición de pensamiento, permite tener mayor claridad, sobre el lugar en el que se encuentran estas investigaciones y los aportes que está haciendo la teoría de la complejidad.

**Palabras clave**

**Morfogénesis, Morfogenetismo sistémico, ontogénesis, filogénesis**

**Abstract**

The morphological nature of the processes and phenomena, guarantees and phylogenetic meaning onto them. Thinking about the epistemological implications of these processes and in ways from which it has established a tradition of thought, can bring more clarity about where you found this research and the contributions being made by the theory complexity.

**Key words** Morphogenesis, Morphogenetic systemic ontogenesis, phylogenesis

## Introducción

Todo el estudio sobre morfogénesis y ontogénesis, ha dado cuenta de procesos que son, desde cierta perspectiva, medidos, lo cual implica que una indagación sobre el tema, continúe pendiente. Podría pensarse dado su carácter plausible, que los modos de medir la morfo-ontogénesis de un proceso, sistema o fenómeno, constituye los modos de aprehenderlos, pero no es así. Lo cierto es que, la cuestión morfológica está muy asociada con los contextos y las circunstancias de desarrollo de esta, lo cual supone una dimensión auto-referencial. Sin embargo, aquí subyace una de las paradojas de lo morfológico, expresión de su bilateralidad. El cómo se produce la forma, solo puede ser analizado en la contextualidad de la forma misma, dado que ésta no es una instancia taxonómica. No obstante, reducir el análisis de la forma, a la forma misma, equivale a constreñir la naturaleza de la indagación morfológica. Es en esta bilateralidad contradictoria donde radica el valor heurístico de la morfogénesis.

## I

La idea de morfo-génesis nos sitúa genealógicamente ante la noción de campo morfológico. Aunque éste es un concepto que ha sido referencial en los dominios de la biología [1]. La noción de campo mórfico no puede ser confundida con la noción misma de campo [2]. Hay dos preguntas que para mí son fundamentales: ¿cómo se ha presentado la cuestión morfológica desde una tradición epistemológica? y el más relevante ¿cómo lo morfológico ha operado un cambio sustancial desde los nuevos emplazamiento de la ciencia y los saberes científicos contemporáneos?

Lo morfológico entonces adquiere relevancia una vez que, más allá de todo constreñimiento, puede establecer el sentido, la naturaleza y la genealogía del proceso y fenómeno que pretende explicar. Por ello no hay razón suficiente para reducir lo morfológico a una zona específica. Hay que trabajar con esta condición paradójica.

Sin embargo, es el campo, como espacio transdisciplinar donde lo morfológico adquiere sentido. Pero todo ello nos sitúa igualmente ante la necesidad de reconocer en esta noción, un cambio fundamental en la forma de constitución de ciencias desde Newton. La indagación por la morfología nos puede llevar de cierto modo a una zona donde lo genealógico adquiera sentido, a condición de reforzar el criterio de relacionalidad expresado como ontogénesis y filogénesis.

Por otra parte, lo morfológico ha tenido una extensa presencia en los dominios de la metafísica. Recordemos las arcaicas polémicas entre contenido y forma que mantuvo ocupados a los teólogos medievales y que tanto produjo en el campo del arte paleocristiano y románico. O si se quiere, recordemos los argumentos de Platón, sobre las maneras de nombrar a las ideas, elemento fundamental, en una de las teorías [3] más representativas expresadas desde lo morfológico. Por otro lado, en Aristóteles lo morfológico viene a constituir la sustancia de las cosas. Lo que denomina forma sustancial, se une al elemento determinado, la materia, y el conjunto o compuesto de ambos es la sustancia total. Pero, por otro lado, lo morfológico es también una de las maneras de comprender el “porqué” de una cosa, o una de las cuatro causas, aquella precisamente “que expresa la esencia”. En esta dirección, la analítica aquí expuesta nos puede conducir a una reflexión sobre el estatuto de la morfología en distintos campos.

Luego, la pregunta por lo morfológico adquiere sentido, sí y solo sí, en la interioridad de la pregunta misma subyace la problemática de la consistencia ontológica de la naturaleza. Solo aquí lo morfológico adquiere relevancia, de lo contrario, la reflexión sobre este quedaría reducida a una mera distinción expresada desde un criterio de medida. Es precisamente este sentido de la consistencia ontológica de la naturaleza, por ejemplo, lo que nos conduce a preguntarnos por su origen y de este modo por lo morfogenético desde una perspectiva sistémica.

La consistencia ontológica de la morfología, ubica en la base de las correlaciones constitutivas, los procesos de emergencia y auto-organización. No obstante, como ya habíamos visto, lo morfológico carece de sentido en sí mismo, si está desprovisto de esta dimensión. Más allá de todo emplazamiento teórico, la noción de morfogénesis tiene necesariamente que referir a un proceso “determinado”. De lo contrario quedaríamos en una reflexión nomológica que si bien es legítima, carece de relevancia.

Usualmente la noción de morfogénesis ha sido privilegiada desde la biología, denotando el proceso de elaboración de una forma a partir de agentes autónomos en un sistema auto-reproductor, capaz de desarrollar al menos un ciclo de trabajo termodinámico [4]. Cuando Kauffman alude a los agentes autónomos, refiere a un sistema que está desplazado del equilibrio termodinámico, es decir, el concepto de agente autónomo es inherente al concepto de no equilibrio. El propio autor plantea que en la misma medida que crece la diversidad molecular en el sistema de reacciones, se alcanza un umbral crítico en el cual emergen espontáneamente redes de reacciones químicas colectivamente auto-catalíticas y auto-reproductoras. De este modo, el proceso de desarrollo embriológico (ontogenético), refiere al conjunto de causas que determinan la organización general de los seres vivos, es decir, su naturaleza morfogenética. De este modo, la relacionalidad estaría dada en el involucramiento de amplios aspectos de la biología, en especial: la embriología, la genética, la fisiología celular y las teorías evolutivas. De ello se intuye que la morfogénesis constituye una forma a partir de la cual se expresa la totalidad en los sistemas. Y entender la totalidad como unidad en los sistemas, supone reconocer sus procesos morfogenéticos, al tiempo que remite necesariamente a la pregunta por la vida. El modo a partir del cual se opera en un sistema, dará cuenta de los procesos morfogenéticos y por demás, de la vida. Este es el punto de encuentro en términos de organización propagativa, cuya referencia explícita puede ser encontrada en la idea de evolución creadora de H. Bergson.

Aunque el “centro” conceptual de la indagación morfogenética ha sido lo físico-biológico, así como las discusiones en torno a sus diversas teorías explicativas, dicho proceso ha suscitado, y sigue suscitando, vivas polémicas epistemológicas. De cierto modo, la polémica ha adquirido un nuevo tamiz “metafísico” desde que Stuart Kauffman en uno de sus últimos libros reactiva la hipótesis de la intervención de Dios en los procesos constitutivos [5]. Sin embargo, cualquier intento que pretenda reducir esta indagación a una zona irrestricta carece de fundamento, una vez que todos los procesos participan de esta condición. Aprenderlos supone conocer sus variaciones, los modos a partir del cual han sido, serán para poder determinar el porqué y el cómo de sus variaciones.

El inicio de las discusiones y teorías acerca de la morfogénesis, ubican ávidas polémicas entre los defensores del transformismo o evolucionismo, por una parte, y los defensores del fijismo, del creacionismo o del catastrofismo, por otra. La polémica se atiza entre los defensores del preformismo y los defensores de la epigénesis. A su vez, la ley biogenética formulada por Haeckel

[6], al señalar que la ontogenia, recapitula la filogenia, da un especial valor al estudio de los procesos morfogenéticos para la plena y estricta comprensión de los procesos evolutivos.

Las líneas más contemporáneas de investigación sobre la morfogénesis están siendo:

- **Desde la embriología y la fisiología celular.** El descubrimiento del llamado cito-esqueleto y el papel de determinadas estructuras citoplasmáticas, está proporcionando nuevos conocimientos acerca de los procesos de determinación de la morfogénesis a nivel celular.
- **Desde la perspectiva genética.** El descubrimiento de los llamados genes homeóticos (genes que transforman órganos homólogos unos en otros) parece explicar cómo las estructuras genéticas determinan la génesis de las formas. El descubrimiento de los genes homeóticos (en 1978) por parte de Edward Lewis (Premio Nobel 1995) permitió establecer que existen genes morfogenéticos que especifican la morfogénesis de grupos celulares [7].

Estas dos líneas han proyectado el trabajo teórico de la biología, sobre todo, teniendo en cuenta la presunta salida de la tradición evolucionista [8]. No obstante, la “tercera ventana” a la que alude Robert E. Ulanowicz en su ensayo “*A third window: natural life beyond Newton and Darwin*”, no solo es una salida al sentido epifenoménico en los procesos biológicos y ecológicos, sino que mas bien enfatiza en el dilema epistemológico[9] que subsiste, mas alla de la forma auto-catalítica que presenta como alternativa.

## II

El dilema epistemológico que subyace en lo morfológico está planteado a partir del modo en que construimos el mundo desde una perspectiva relacional, en el cual, el concepto de información (Claude Shannon) intencionalidad (no antropologizada) y sentido constituyen principios estructuradores, no estructurales. ¿Cómo se constituye forma y origen? “Este es quizás uno de los grandes conflictos de la Teoría de la Evolución, ésta explica la descendencia con modificaciones, más no explica la génesis de la forma, sino más bien cómo se transforma ésta una vez ha sido generada” [10]. Hay definitivamente una explicación fisiológica de los procesos morfológicos, pero ello no es suficiente cuando se pretende comprender la naturaleza de los procesos cognitivos, por ejemplo. Este es de cierto modo el estancamiento y fiasco en los dominios de las ciencias cognitivas, las neurociencias y la inteligencia artificial.

Todo ello está dado por la secularidad del episteme moderno, en tanto conceptualización que parte de una imagen petrificada de la naturaleza y de sus procesos. Son estas condicionantes uno de los aspectos que lastra la comprensión de los procesos morfogenéticos, sobre todo a partir de la prevalencia de esta imagen secularizada.

Ello nos sitúa de plano en la problemática de la causalidad *-en su dimensión aristotélica y post-aristotélica-*, la temporalidad, el movimiento, la auto-organización y la emergencia. El énfasis entonces hay que hallarlo, no en los patrones [11] matemáticos de relación morfogenética como intentos de matematización de estos procesos. Si bien los trabajos de Alan Turing [12] -por ejemplo- hacia 1950 sobre estos patrones son fundamentales, subsiste una cuestión de orden epistemológico en la morfogénesis. Turing propuso explicar el origen y desarrollo de las formas en

la naturaleza desde plataformas matemáticas. La existencia de ciertas sustancias “morfógenas” [13] que se propagan para crear diversas estructuras espaciales, sugieren que:

“It is suggested that a system of chemical substances, called morphogens, reacting together and diffusing through a tissue, is adequate to account for the main phenomena of morphogenesis.

Such a system, although it may originally be quite homogeneous, may later develop a pattern or structure due to an instability of the homogeneous equilibrium, which is triggered off by random disturbances. Such reaction-diffusion systems are considered in some detail in the case of an isolated ring of cells, a mathematically convenient, though biologically unusual system.

The investigation is chiefly concerned with the onset of instability. It is found that there are six essentially different forms which this may take. In the most interesting form stationary waves appear on the ring. It is suggested that this might account, for instance, for the tentacle patterns on Hydra and for whorled leaves. A system of reactions and diffusion on a sphere is also considered.

Such a system appears to account for gastrulation. Another reaction system in two dimensions gives rise to patterns reminiscent of dappling. It is also suggested that stationary waves in two dimensions could account for the phenomena of phyllotaxis.” [14]

Lo que trae Turing de la mano, es el dilema sobre la determinación y la expresión de la estructura morfológica desde un dominio estrictamente matemático. ¿Cómo y porque esta estructura emerge? ¿Cómo y porque desde determinado patrón? La similaridad entonces de estos patrones, equivale a una comprensión de la actividad no desde las relaciones de las partes, sino en la dinámica del conjunto. Esto es lo que “pierde” de vista Turing, a lo que se le suma, la “determinación” del signo de la estructura y las propiedades en términos de inercia ontogenética. Paralelamente, otros investigadores, siguiendo la teoría de autómatas elaborada por J. von Neumann, han investigado los algoritmos que presiden los fenómenos de la división celular.

Una de las líneas de investigación general de mayor impacto que ha revestido interés epistemológico, debe encontrarse en la teoría de las catástrofes de René Thom [15] y en la geometría fractal de Mandelbrot. El dinamismo morfogenético habla de auto-similaridad pero sobre todo, habla de una articulación, de relacionalidad y de unidad en lo que Mandelbrot llama objetos naturales, estudiados bajo una amplia familia de objetos geométricos. Es decir, lo morfogenético como extensión de la auto-similaridad, establece un criterio de asociación donde la unidad de sus componentes se dispone, siguiendo leyes definidas, a responder y corresponder a partir de condiciones ambientales.

Este criterio de complementariedad constituye un punto de partida esencial; de lo contrario estaríamos reproduciendo la “singularidad” de las dos culturas (Snow). Por ejemplo, gracias a la termodinámica no lineal, o termodinámica de procesos irreversibles, hoy sabemos que los procesos biológicos son compatibles con la segunda ley de la termodinámica [16]. Ello sugiere que en los sistemas abiertos, lejos del equilibrio, pueden formar estructuras biológicas mediante la amplificación de fluctuaciones que conducen a un nuevo estado en el cual se mantienen estructuras disipativas. Todo esto tiene gran interés desde el punto de vista morfogenético. Sin embargo, en todos estos casos asistimos a una puesta en práctica de un saber, un saber que puede experimentar una reducción lógica en términos analíticos. Ejemplo de ello, son los empeños de generar una teoría morfogenética, como patrón a partir del cual se describan cómo se generan las diferentes formas. Esta sería una teoría de lo que Stephen Jay Gould ha llamado “morfoespacio” como espacio de las

morfologías organizadas de acuerdo con varios principios. ¿Hay una invariante morfogenética de origen? para Peter Saunder del departamento de matemáticas del King's College de Londres, hay conjunto de invariantes en la morfogénesis.

Sin embargo, desde una perspectiva holista y matemática, se ha intentado descubrir mecanismos capaces de explicar la morfogénesis de manera independiente del substrato de la que ésta surge [17]. Ejemplo de ello, son los trabajos de D'Arcy Thomson, quien a comienzos del XX, desarrolla una zona de estudio, a partir de la cual, las transformaciones genéticas, pueden explicar los procesos de la morfogénesis.

Es decir, las diversas correlaciones entre el crecimiento y la forma de la materia orgánica, genera analogías con ciertas simetrías, así como también con algunas leyes físicas.

Otro de los aspectos sustanciales a la idea de morfogénesis, ha de encontrarse en la idea de teleonomía. Particularmente, para aquellos que bajo el postulado de objetividad de la naturaleza, suponen el fundamento teleonómico como principio de objetividad, en tanto criterio descriptivo. Para algunos puede parecer trasnochado pensar en estos términos, pero hay un hecho que tenemos que enfrentar, todos los procesos tienen una intencionalidad subyacente que se expresa a través de esta teleonomía. Sobre todo, cuando ésta nos ha permitido replantearnos cuestiones relacionadas con los problemas acerca de la finalidad en el sentido irrestricto. De cualquier manera, este argumento supone una superación ante la esterilidad de la causa final aristotélica, teniendo en cuenta los desarrollos de la auto-organización (self-organization) y la emergencia en los procesos y en los fenómenos.

Consustancialmente, la idea de lo sistémico, provee de una pauta en la comprensión de la noción de morfogénesis. Pero la posibilidad real de formular teorías en torno a la morfogénesis, depende de que exista una jerarquía de niveles inter-relacionados. Se deroga entonces la pretendida supremacía de lo biológico en los dominios de lo morfogenético, para generar una posibilidad intelectual, a partir de su valor heurístico. El interés principal de lo heurístico, subyace en la posibilidad de sugerir como la existencia de semejanzas estructurales en diversos niveles, facilita la investigación de las características en la unidad de los procesos naturales. La proporción explicativa de estos procesos, está siendo desarrollada desde las ciencias de las acciones cooperativas (sinergia) y la estigmergia como pautas naturales a partir de situaciones específicas de los componentes.

El criterio de acciones cooperativas, propicia el concepto de campo morfogenético, edificando "analogías" con algunos de los conceptos de la física cuántica. Es decir, con el complejo epifenoménico morfo-filo-ontogénesis, nos enfrentamos a un nuevo concepto de los procesos. Aunque son conceptos que tienen un referente en el siglo XIX y particularmente, en la tradición darwinista, solo hoy podemos establecer con cabalidad el marco conceptual a partir del cual se genera. De hecho, la indagación en torno a la morfogénesis es lo que ha traído de cabeza al darwinismo. No hay manera de entender al darwinismo desde ese marco conceptual. Es pura no-linealidad, emergencia, epigénesis lo que se modela desde los contextos de la morfogénesis. La biología darwinista no puede operar con esos términos, porque su marco teórico es mecanicista newtoniano; no sistémico-emergentista. Darwin no conoció a la especie de los homínidos, de hecho, ni la previó. Antes bien habló de un vacío, entre los monos y el hombre moderno, que se profundizaría con el paso del tiempo. En cambio, la teoría evolucionista "evolucionó al revés", al empeñarse en rellenar ese abismo. Estas son palabras del célebre naturalista: "El vacío que se

encuentra hoy entre el hombre y los monos, entonces habrá aumentado considerablemente, ya que se extenderá desde la raza humana (que entonces habrá sobrepujado a la caucásica en civilización) a alguna de mono inferior, tal como el babuino, en lugar de estar comprendido, como en la actualidad, entre el negro o el australiano y el gorila” [18]. Sin embargo, hay un espacio de permisibilidad y legitimidad de la biología evolutiva (darwinista). Espacio que ha generado una perspectiva reduccionista, donde cualquier cosa que se haga es predecible y controlable.

## Conclusiones

Comprender los procesos concernientes a la morfogénesis, tiene mucho que ver con la relacionalidad autopoyesis/morfogénesis/emergencia de la vida. Whitehead lo ha llamado el “avance creativo dentro de la novedad”. Y es aquí, donde subyace el potencial heurístico y epistemológico de estos temas. Razón que fundamenta la asociación semántica de estos procesos y por extensión a la triada semiológica de Pierce.

Quiero terminar con Immanuel Kant, quien en “Crítica de la razón pura” enfatiza en la consistencia ontológica de la naturaleza. “El principio «Nada sucede por un ciego azar» (in mundo non datur casus) es, consiguientemente, una ley de la naturaleza a priori. En la naturaleza no hay necesidad ciega, sino necesidad condicionada y, por ello mismo, susceptible de ser entendida (non datur fatum). Los dos constituyen los principios que nos permiten someter el juego de los cambios a una naturaleza de las cosas [...]. Ambos principios son dinámicos.” [19]

El entendimiento de los procesos de la morfogénesis constituye la base para la comprensión de la organización en los sistemas, dando cabida a un campo primordial que no se circunscribe a una disciplina concreta. Es aquí donde los estudios sobre la complejidad o la teoría del caos pueden generar un espacio de comprensión “común”, donde tenga cabida estudios sobre la morfología neuronal así como la morfología de los procesos cognitivos.

Ello pone de manifiesto la incapacidad y los límites existentes en los dominios de ciencia. Muchos de nuestros problemas más urgentes y más interesantes desafíos residen en los límites de las disciplinas existentes, y requieren el desarrollo de un tipo totalmente nuevo de sensibilidad. Es desde este contexto donde podrán ser explicados los patrones de emergencia como patrones de diferencialidad, más allá, de la descripción de las secuencias de cambio en espacios concretos de lo morfológico. Ello implica acceder a una comprensión más allá de la forma, expresada en la dinámica de la misma [20].

## Referencias.

[1] Ello supone actividad de organización espacial.

[2] Para un examen mas detallado de estos y otros aspectos, véase: "A new science of life" de Rupert Sheldrake

[3] Hago referencia aquí a la Teoría de las formas platónicas conocida como teoría de las ideas o teoría de los arquetipos.

[4] Véase "Investigaciones" Kauffman.

[5] El escritor Michael Shermer revisa en un artículo de Scientific American el concepto de Dios a partir de las ideas que plantea el último libro del biólogo norteamericano Stuart Kauffman. En su libro, Kauffman reclama la existencia de un Dios completamente natural, que explicaría la incesante creatividad de los sistemas que componen el universo, en los niveles de mayor complejidad. El reduccionismo, que permite conocer las partes que componen cualquier entidad, no alcanza a explicar la auto-organización de dichas entidades, señala. Y Dios sería tan sólo el nombre para aquello que escapa a las leyes físicas. Sin embargo, la reclamación de la hipótesis de Dios, abre una vez más la puerta metafísica, lo que está tras de sí no es más que la incapacidad epistemológica para comprender las nuevas formas de procedencia e inteligibilidad. Véase también, para un análisis más detallado de el texto ¿Es Dios un geómetra? De Ian Stewart & Martin Golubitsky

[6] Ernst Haeckel (1834-1919) Biólogo alemán y darwinista convencido. Formuló, basándose en parte en los estudios embriológicos de Fritz Müller, la ley biogenética según la cual la evolución del individuo (ontogénesis) reproduce la evolución de la especie (filogénesis): "la ontogénesis, es decir, el desarrollo del individuo, es una breve y rápida recapitulación de la filogénesis o evolución de la stirpe a la que pertenece, de los precursores que forman la cadena de los progenitores del individuo mismo, repetición que está determinada por las leyes de la herencia y de la adaptación". A partir de sus estudios biológicos, elabora una filosofía de la naturaleza y del hombre de carácter hilozoísta, monista y materialista, ya que para Haeckel todos los fenómenos naturales están sujetos a las leyes de la evolución, y toda realidad, sea viva o no, está dotada de movimiento. La única y verdadera ley cósmica es "la ley de la sustancia, que abarca la ley química de la conservación de la materia, y la ley física de la conservación de la energía». Así, «la materia, en cuanto sustancia extensa infinita, y el espíritu, o energía, en cuanto sustancia que siente y piensa, son los dos únicos atributos o propiedades fundamentales de la omnicompreensiva sustancia universal"

[7] Mediante técnicas moleculares se pudieron (a mediados de los años ochenta) descubrir genes homólogos en todos los organismos multicelulares. Dichos genes homeóticos o morfogenéticos aparecieron presumiblemente hace 650 millones de años, en los inicios de la vida multicelular sobre la tierra, y tanto su estructura molecular como su función y su orden en el ADN se han conservado invariantes. La investigación que han desarrollado Chistiane Nüsslein-Volhard y Eric Wieschaus (que compartieron el premio Nobel de medicina de 1995 con el mencionado Edwar Lewis). Sus trabajos han permitido mostrar que los genes homeóticos se hallan en todas las especies. De estos trabajos se desprende que la morfogénesis y la evolución son inteligibles en términos de genes y conducta celular. De manera que, como ha dicho A. García Bellido: "la afirmación de que, para el metabolismo y la síntesis de proteínas, lo que es verdad en la bacteria es verdad para el elefante, se puede ahora hacer extensiva a la generación de formas".



[8] Para detalles véase el Capítulo 5 Evolution del texto “Complexity a guide tour” de Melanie Mitchell. Oxford University Press 2009

[9] “At it’s core, A Third Window seek to go beyond both reductionism, the first window on the world, captured in the Newtonian word view with it’s time reversible laws; and Darwin, who brought history deeply into the second window on the world, with a third window base don process ecology” Foreword. “A third window: natural life beyond Newton and Darwin” Robert E. Ulanowicz en su ensayo “A *third window: natural life beyond Newton and Darwin*” Templeton Foudation Press. 2009

[10] “Investigaciones” Kauffman. Pág. 39

[11] Los patrones morfogenéticos, no deben ser entendidos como demarcaciones irrestrictas. Esta ha sido si se quiere uno de los conflictos fundamentales en torno a esta conceptualización. Para mas detalles, véase “Las manchas del leopardo: la evolución de la complejidad” Brian Goodwin. Metatemas No 51 Tusquets Editores. Barcelona 1998 Pág. 216

[12] Otros investigadores, siguiendo la teoría de autómatas elaborada por J. von Neumann, han investigado los algoritmos que presiden los fenómenos de la división celular. Ejemplo de ello son las aportaciones John Holland y su equipo de estudiantes de la Universidad de Michigan sobre los “algoritmos genéticos”. Los fenómenos de la adaptación, el entorno, los modos en que los organismos responden ante otros organismos y cómo cambian estos, constituyen la base analítica para pensar cómo los sistemas computacionales establecen principios de similitud para la “adaptación”. Estos temas fueron desarrollados en el texto de 1975 “Adaptation in natural and artificial systems”

[13] Vease “The Chemical Basis of Morphogenesis” A. M. Turing. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, Vol. 237, No. 641. (Aug. 14, 1952), pp. 37-72.

[14] Alan Turing, Obra citada, Pág. 38 "Se sugiere que un sistema de sustancias químicas, llamado morfogenético, reaccionando juntos y difundiendo a través de un tejido, se adecua a lo que se denomina fenómenos morfogenético.

Tal sistema, aunque puede ser originalmente bastante homogéneo, puede desarrollar un modelo o estructura después debido a una inestabilidad del equilibrio homogéneo que se activa fuera de las perturbaciones aleatorias. Los tales sistemas de reacción-difusión son considerados en detalle en el caso de un anillo aislado de células. Toda la investigación entorno a lo morfogenético, ha estado interesada en esta inestabilidad.” Traducción no oficial.

[15] Fundamenta la aparición de propiedades estructurales en niveles muy diferentes

[16] Recordemos que la energía se degrada bajo forma calorífica. Este principio se inscribe en la irreversibilidad del tiempo, mientras que hasta entonces las leyes físicas eran en principio reversibles, e incluso en la concepción de la vida la continuidad de las especies no necesitaba del tiempo. Lo importante no es sólo la irrupción de la irreversibilidad y, por lo tanto del tiempo; también lo es la aparición de un desorden desde que el calor es concebido como una agitación de moléculas. El movimiento desordenado de cada molécula es impredecible, excepto en la escala estadística, donde efectivamente se llegan a determinar las leyes de distribución.

[17] Recordemos los trabajos de los hermanos Bravais quienes intentaron una descripción de la filotaxia (distribución de las hojas en una rama) a partir de modelos cristalográficos.

[18] Charles Darwin: *El origen del hombre*. La Habana, s/a

[19] Inmanuel Kant. “Crítica de la razón pura” Anal., trasc., l. 2, cap. 2, sec. 3, B 281 (Alfaguara, Madrid 1988, 6ª ed., p. 250-251).

[20] Para un estudio mas detallado de estos aspectos relacionado con la dinámica / morfogénesis queda expresados en la página 139 del texto: “Las manchas del leopardo: la evolución de la complejidad” Brian Goodwin. Metatemas No 51 Tusquets Editores. Barcelona 1998

## Bibliografía.

- A. M. Turing "The Chemical Basis of Morphogenesis" Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, Vol. 237, No. 641.
- Brian Goodwin "Las manchas del leopardo: la evolución de la complejidad". Metatemas No 51 Tusquets Editores. Barcelona 1998
- Charles Darwin. "El origen del hombre" Editorial Ciencias Sociales. La Habana, 1976
- Inmanuel Kant. "Crítica de la razón pura" Alfaguara, Madrid 1988, 6ª ed.
- John Holland "Adaptation in natural and artificial systems" 1975. Texto electrónico
- Melanie Mitchell "Complexity a guide tour" Oxford University Press 2009
- Stuart Kauffman "Investigaciones". Metatemas MT No 76 Tusquets Editores. Barcelona 2003
- Robert E. Ulanowicz "A third window: natural life beyond Newton and Darwin" Templeton Foudation Press. 2009