

January 1995

## Introducción a la Evolución y Sistemas Adaptativos

Dr. José De Jesús Martínez P.

*Universidad de La Salle, Bogotá, revista\_uls@lasalle.edu.co*

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls>

---

### Citación recomendada

Martínez P., D. D. (1995). Introducción a la Evolución y Sistemas Adaptativos. Revista de la Universidad de La Salle, (21), 59-66.

This Artículo de Revista is brought to you for free and open access by the Revistas de divulgación at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Revista de la Universidad de La Salle by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

# Introducción a la Evolución y Sistemas Adaptativos

---

*Dr. JOSÉ DE JESÚS MARTÍNEZ P.*

*Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería de Sistemas*

*Universidad Nacional.*

*Aporte de la Facultad de Diseño y Automatización Electrónica.*

*Universidad De La Salle*

**L**a evolución orgánica por selección natural, es una de las grandes teorías de todos los tiempos, pues explica la existencia y las características de la vida. La vida que sigue dando el fenómeno más complejo, con que el ser humano se ha encontrado, en sus diferentes realizaciones.

Como teoría, la evolución es única. Influye en todas las ciencias humanas, hasta la teoría del comportamiento humano; y en las ciencias naturales, especialmente en la biología. Ha sido criticada, y por qué no decirlo, ridiculizada por sus implicaciones.

Al analizarla desde la teoría de sistemas, las realizaciones de la vida se consideran como sistemas complejos

adaptivos, es decir, sistemas no lineales definidos por la interacción de gran número de agentes adaptivos.

## 1. Propiedades básicas

Teleonomía, Morfogénesis Autónoma e Invariancia Reproductiva.

## ■ Teleonomía

Todas las adaptaciones funcionales de los seres vivos, y todos los dispositivos que se han configurado para ellos, cumplen objetivos particulares. Pueden considerarse como aspectos o fragmentos de un objetivo primitivo único, la conservación y multiplicación de la especie.

Todas las estructuras, todos los comportamientos y todas las actividades que contribuyen al logro del objetivo esencial se llaman "teleonómicas".

Se considera que las estructuras y comportamientos teleonómicos, corresponden a una cantidad de información, que se debe transferir para que se realicen esas estructuras y se cumplan esos comportamientos. Esta cantidad de información se puede considerar como un "nivel teleonómico", propio de cada especie y que se debe transferir en promedio por individuo, a la siguiente generación para asegurar la transmisión del contenido específico de invariancia reproductiva.

Se trata de averiguar el grado de todos los comportamientos, concebidos para servir al proyecto teleonómico. Esta magnitud es teóricamente definible, que aunque no se puede medir en la práctica, permite ordenar en forma muy general las diferentes especies o grupos de seres vivos sobre una escala teleonómica.

## ■ Morfogénesis Autónoma

La estructura de todo ser vivo, desde la forma general hasta el menor detalle, se debe completamente a interacciones morfogenéticas internas al objeto mismo. Esta estructura define un determinismo autónomo, preciso riguroso, que implica una "libertad" casi total, con respecto a agentes o a condiciones externas, capaces tal vez de trastornar ese desarrollo, pero no de dirigirlo.

Este determinismo autónomo, asegura la formación de las estructuras extremadamente complejas de los seres vivos, lo que necesariamente requiere una considerable cantidad de información.

Este proceso de morfogénesis autónoma y espontánea, se basa en última instancia en las propiedades de reconocimiento estereoespecífico de las proteínas donde se encuentra el "secreto" de la construcción de los sistemas vivientes.

Las proteínas, con un peso molecular entre 10.000.000 y 1.000.000 o más, constituidas por la polimerización secuencial de compuestos, de peso molecular cercano a 100, pertenecientes a los "aminoácidos". Sin embargo, estos numerosísimos radicales solo pertenecen a 20 especies químicas diferentes, que se encuentran en todos los seres vivos, desde la bacteria hasta el hombre.

Esta monótona composición, constituye una ilustración sorprendente de que la prodigiosa diversidad de estructuras, a nivel macroscópico de los seres vivos, esta basada en una unidad de composición y de estructura microscópica.

Entre los millares de reacciones químicas que contribuyen al desarrollo de un organismo, cada una es provocada por una proteína-enzima particular. Esta especificidad es doble porque en primer lugar, cada enzima no cataliza sino un solo un tipo de reacción; y en segundo lugar, porque en el organismo hay muchos objetos susceptibles de sufrir ese tipo de reacción, pero la enzima por regla general, solo se activa con respecto a uno de ellos.

Ahora, cada una de estas enzimas constituye una unidad funcional, totalmente independiente, excluyente de todo otro objeto o evento, que se pueda producir en la maquinaria química de la célula.

Si se considera la suma total de cada una de estas actividades enzimáticas, sólo se podría pensar en un caos, si no existiera un ordenamiento para conformar un sistema coherente. El nivel de este ordenamiento, permite crear

una escala de los seres vivos de los más "simples" a los más "complejos".

Estas funciones de ordenamiento, las asume el sistema nervioso y el sistema endocrino, lo cual asegura la coordinación entre órganos y tejidos, es decir entre células.

---

*" Entre los millares de reacciones químicas que contribuyen al desarrollo de un organismo, cada una es provocada por una proteína - enzima particular."*

---

### ■ Invariancia reproductiva

Se trata de la capacidad, de reproducir una estructura con un alto grado de orden, es decir, de información.

Entonces, la invariancia reproductiva de una especie dada, es igual a la cantidad de información, que se transmite de una generación a otra para conservar la norma estructural específica.

Se tiene que en su estructura básica, todos los seres están constituidos por las mismas dos clases de macromoléculas: las proteínas y los ácidos nucleicos. Además, estas macromoléculas están formadas por los mismos radicales, 20 aminoácidos para las proteínas, y cuatro tipos de nucleótidos para los ácidos nucleicos.

En cuanto a su funcionamiento, se utilizan las mismas reacciones, o más bien, secuencias de reacciones, en todos los organismos, para las operaciones químicas esenciales.

Se constituye así, el equivalente de un alfabeto escrito en los nucleótidos y los aminoácidos, es decir, la determinación de las funciones asociativas específicas de las proteínas.

Con este alfabeto, se puede escribir toda la diversidad de estructuras y comportamientos que contiene la biosfera. Además, es la reproducción, sin variación, en cada generación celular del texto escrito bajo la forma de secuencia de nucleótidos en el ADN, la que asegura la invariancia de la especie.

La molécula de ADN, se puede como un cristal fibrilar por la regularidad de la estructura, aunque hay que decir que se trata de un cristal "aperiódico" pues la secuencia de los pares de bases no es repetitiva.

Desde mediados de los años 30 hasta mediados de los 60, en la Unión Soviética, el biólogo T.D. Lysenko, persuadió inicialmente a Stalin y luego a Krushov, de que los caracteres adquiridos podían heredarse. Durante este período, el gobierno, siguiendo las teorías de Lysenko, intentó adaptar plantas tropicales para crecer en el Artico y forzó al trigo de invierno, a desarrollarse en regiones de trigo primaveral, asolando con ello la producción agrícola rusa. Lysenko rechazaba por completo el papel del ADN, como base material del desarrollo del ser.

La replicación se explica por las interacciones estereoespecíficas directas entre una secuencia polinucleótida que sirve de matriz y los nucleótidos

que vienen a asociarse con ella, este es un aspecto muy mecánico, e incluso "tecnológico".

## 2. Traducción del Código Genético

La traducción de la información del ADN, en sustancia proteínica es un proceso de traducción de un lenguaje: de una secuencia de letras, de un alfabeto de cuatro letras, en un alfabeto de veinte letras. Todas las células contienen millares de pequeñas máquinas de traducción, los ribosomas que elaboran las cadenas proteínicas.

En primer lugar, por medio de una enzima para acelerar el proceso, se copia un fragmento de información, un gen, del ADN. Esta copia es un ácido ribonucleico (ARN) mensajero. Las moléculas del ARN son idénticas a las del ADN, hasta el citoplasma, donde en los ribosomas se fabrican las proteínas.

La copia del gen, el ácido ribonucleico ARN mensajero, se introduce en el ribosoma. El ribosoma es un lector, que lee la secuencia de nucleótidos (letras) del ARN mensajero, y produce una proteína, siguiendo el siguiente procedimiento enzimas especiales unen aminoácidos a moléculas pequeñas de ARN, ácido ribonucleico de transferencia ANRt, así cada una de las veinte clases de aminoácidos queda unida a su propia y especial molécula de ARNt,

quedando las moléculas de ARNt, con los aminoácidos agregados, a disposición del ribosoma.

El ribosoma selecciona el próximo ARNt, incluyendo su aminoácido, en función de la frase del mensajero que está leyendo en ese momento. El apareamiento de los nucleótidos del mensajero a un determinado aminoácido depende de las relaciones naturales de pareamiento de nucleótidos. Cada conjunto de nucleótidos del mensajero, se acopla perfectamente con el grupo de apareamiento de nucleótidos del ARN. De esta manera cada nuevo aminoácido queda químicamente ligado al aminoácido que le precede en el ribosoma.

Así se van enlazando en una secuencia los eslabones uno cada vez. A medida que el ribosoma mensajero, crece la longitud de la cadena. Cuando termina la lectura de la cadena del mensajero, se libera la cadena proteínica completa. Así nace una nueva proteína. Una secuencia de nucleótidos en un gen o secuencia de ADN, especifica exactamente una secuencia de aminoácidos en una proteína, un gen una proteína. El ADN contiene tantos genes como proteínas distintas hay en las células, en los humanos alrededor de 200.000.

La fidelidad, con que la maquinaria elaboradora de proteínas realiza el proceso de traducción, es realmente notable, ya que se pueden tolerar muy pocos errores, en la producción de las miles de proteínas necesarias para la vida celular.

### 3. Mutaciones

Una mutación es un cambio de uno o más de los cuatro nucleótidos, que constituyen los eslabones del ADN. Un cambio en un eslabón, significa un cambio en una letra del mensaje del ADN. El ARN mensajero copiado de este ADN, también presentará dicho cambio.

El resultado será una proteína alterada, un eslabón de la cadena - un aminoácido- será distinto, y consecuentemente, cambiará la función de la proteína.

Las mutaciones presentan una característica muy importante son copiadas cuando se copia el ADN. Antes de la división celular, una enzima copia el ADN, nucleótido por nucleótido, hasta que se origina una copia completamente nueva de los genes, de modo que la mutación en el ADN se copiará a menudo, se perpetuará el error y se propagará a todas las siguientes

---

*“ Todas las estructuras, todos los comportamientos y todas las actividades que contribuyen al logro del objetivo esencial se llaman 'Teleonómicas'.”*

---

generaciones de células que contengan aquel ADN.

Las mutaciones son, en realidad, acontecimientos fortuitos. No hay modo alguno de saber qué eslabones quedarán afectados. En cualquier momento, las mutaciones pueden afectar a cualquier nucleótido del ADN de toda criatura viviente, incluido el hombre. (Existen unas enzimas, muy precisas, que cuidan constantemente el ADN y cuando se encuentran un cambio ¡lo reparan!, aunque no puedan con todos).

#### ■ Mutaciones "buenas" y mutaciones "malas"

Las mutaciones son raras, pero han sido instrumentos esenciales del cambio evolutivo.

Han producido cambios en las proteínas de los organismos, que le han conferido alguna ventaja en sus relaciones con el ambiente. En este sentido, las mutaciones han sido beneficiosas, y no hay razón alguna para pensar que este proceso no siga actuando, es decir, que continúe alterando el ADN para proporcionar a las criaturas actualmente vivientes, incluido el hombre, algunas proteínas ligeramente mejoradas, que realicen mejor su función.

Pero la mayoría de las mutaciones, al menos las detectables, son perjudiciales. Contrariamente a lo que sucede con las mutaciones beneficiosas, las perjudiciales son fáciles de detectar por-

que se manifiestan como un defecto, una debilidad, una enfermedad. Se descubren, casi a diario, nuevas enfermedades humanas producidas por mutaciones.

#### 4. Mezcla sexual del ADN

Las mutaciones son, por tanto, cambios, acontecimientos poco distintivos, casi siempre perjudiciales, aunque con el suficiente cambio del ADN para tener un valor, en cuanto a la evolución.

Sin embargo, se necesitaba algo mejor, capaz de modificar el ADN, sin el riesgo de dañarlo.

En teoría, cambiar el ADN por su mezcla con otro ADN distinto, quizá lo conseguiría. Si dos células distintas pudieran juntarse y recombinar su ADN, de tal manera, que los genes de una pudieran enlazarse directamente con los de la otra y, en consecuencia, formar descendientes con genes de ambas, se habría avanzado muchísimo.

#### ■ Fusión celular

En algún lugar, en un remoto pasado, debió acontecer algún tipo de unión del ADN de dos células. Presumiblemente, las células de aquella sopa primitiva habían experimentado, en sus frecuentes contactos, uniones ocasionales de suficiente duración, para permitir la mezcla de sus contenidos. Esto significa que, en

la zona de contacto, la envoltura membranosa de cada una de las células, se rompía para permitir que los contenidos se mezclaran. El comportamiento de la gran célula única resultante, sería entonces dirigido por las proteínas de ambas células, y los ADN de aquellas dos células pasarían a formar parte de una célula única.

La aparición de la complementariedad, en relación célula-célula, significa el nacimiento de dos poblaciones distintas de células: una presenta características elementales de masculinidad, y la otra, de feminidad.

## 5. Sistemas Adaptativos

De lo anterior se puede decir, que la adaptación incluye una modificación progresiva, de alguna estructura o estructuras del sistema.

Estas estructuras constituyen la fuente del proceso adaptativo; y la observación cuidadosa de las modificaciones progresivas, revela un conjunto de modificadores estructurales u operadores.

La acción repetida de estos operadores produce la secuencia de modificaciones observadas, que en el caso de los seres vivos y a un macronivel, son el cruce la mutación y la selección.

Un sistema adaptativo, se caracteriza por la mezcla de operadores que actúan sobre la estructura en cada paso.

El plan adaptativo del sistema, su función teleonómica, determina qué

estructuras surgen en respuesta al ambiente; el límite de este plan es el conjunto de estructuras realizables, por la aplicación de los operadores en cada secuencia.

Debido a que una estructura se comporta diferente en ambientes diferentes, la estructura es más o menos apta, es tarea del plan adaptativo producir estructuras que se comporten bien, sean aptas, al ambiente que las confronte.

Las adaptaciones del ambiente son propiedades persistentes en la secuencia de estructuras generadas por el plan adaptativo.

El enunciado de la tarea adaptativa incluye tres componentes importantes:

1. El ambiente E, del sistema sometido a adaptación.
2. El plan adaptativo T, por el cual se modifica la estructura del sistema.
3. Una medida M del comportamiento, que define la aptitud de las estructuras al ambiente.

Un aspecto importante del plan T, es que inicialmente tiene información incompleta sobre cuáles son las estructuras más aptas. Para reducir esta incertidumbre, es decir aprender, el plan debe probar el comportamiento de diferentes estructuras en el ambiente. En términos más formales:

Se pueden desconocer una o varias características del ambiente, solo cuando lo permiten los resultados



alternativos de las pruebas del plan adaptativo.

Cada una de las distintas combinaciones de alternativas es un ambiente distinto E, en el cual puede actuar el plan adaptativo.

El conjunto de todas las posibles combinaciones alternativas indica la incertidumbre inicial del plan sobre el ambiente que lo confronta.

Formalizando:

E: El ambiente en que se confronta una estructura.

S: El conjunto de ambientes E.

A: Una estructura dada.

B: El conjunto de estructuras realizables.

M (E): Medida del comportamiento o aptitud, de las estructuras en un ambiente E.

T: Plan adaptativo, o secuencia, a través de B.

G: El conjunto de operadores que actúan sobre la estructura.

La organización de las estructuras de B, los efectos de los operadores G en las estructuras de B, y la forma de medición

de la aptitud M (E), afectan la adaptación. Algunos obstáculos que enfrenta un plan adaptivo.

1. B es grande, es decir, hay muchas alternativas para probar.
2. Las estructuras de B son complejas, es decir, es difícil determinar qué componentes, si las hay, son las responsables de una buena aptitud.
3. La medida de la aptitud M(E), hacia el logro del objetivo esencial del sistema adaptativo, es una función compleja con muchos parámetros interdependientes, es decir, tiene muchas dimensiones, es no lineal, presenta óptimos locales, discontinuidades, etc.
4. La medida de aptitud M (E), varía con el tiempo y el espacio, por consiguiente las adaptaciones son solo ventajosas en ciertos lugares y momentos.
5. El ambiente E presenta a T, un gran flujo de información, y datos que se deben filtrar y ordenar para establecer su relevancia. ♦

## Sugerencias Bibliográficas

- COLON, F, GLORIOSO, R, Engineering Intelligent Systems, DEC, 1975.
- HOLLAN, H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, MIT Pres, 1993.
- KAUFFMAN, S. Antichaos and Adaptation, Scientific American, Agosto 1991, pp 78-84.
- MARTÍNEZ, J. Introducción a los Algoritmos Genéticos Simples, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional, Bogotá 1992.
- SOUCEK, B., SOUCEK, M., Neural and Massively Paralell Computers, John Wiley, 1988.
- WINSTON, P, Artificial Intelligence, 3ra. Ed., 1992.