



SEGUNDA  
EDICIÓN

# BIOLOGÍA

## CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS BÁSICOS

**Coordinadores Académicos**

LUIS ERNESTO BELTRÁN

FRANCISCO DE PAULA GUTIÉRREZ

GLADYS ROZO TORRES



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
**JORGE TADEO LOZANO**

Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales  
Departamento de Ciencias Básicas

# BIOLOGÍA

## CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS BÁSICOS



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
JORGE TADEO LOZANO

Biología: conceptos y fundamentos básicos / Luis Ernesto Beltrán... [et al].  
-- 2a. ed. -- Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano,  
2010.

256 p.: il. col.; 22 cm.

ISBN: 978-958-725-057-2

1. BIOLOGÍA. I. Beltrán F, Luis Ernesto

CDD570'8521

©Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2010.  
Carrera 4 No. 22-61 / PBX: 2427030 /www.utadeo.edu.co  
Programa de Biología Marina

# BIOLOGÍA

## CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS BÁSICOS

ISBN: 978-958-725-057-2

Primera edición: 2009

Segunda edición: 2010

### RECTOR:

José Fernando Isaza Delgado

### VICERRECTOR ACADÉMICO:

Diógenes Campos Romero

### DECANO FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA:

Daniel Bogoya Maldonado

### DIRECTOR DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES:

Iván Rey Carrasco

### DIRECTOR DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS:

Favio Cala Vitery

### DIRECTOR (E) DE PUBLICACIONES:

Jaime Melo Castiblanco

### EDITORES ACADÉMICOS:

Luis Ernesto Beltrán

Francisco de Paula Gutiérrez

Gladys Roza Torres

### DISEÑO DE CARÁTULA:

Samuel A. Fernández Castro

### FOTOGRAFÍA DE CARÁTULA:

Luis Carlos Celis

### CONCEPTO GRÁFICO, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

Samuel A. Fernández Castro

### GRÁFICOS:

Samuel A. Fernández Castro

### ILUSTRACIONES:

María de la Paz Chaparro

### REVISIÓN DE ESTILO:

Ximena Torres

### COORDINACIÓN EDITORIAL:

Andrés Londoño Londoño

### COORDINACIÓN DE PRODUCCIÓN:

Henry Colmenares Melgarejo

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin autorización escrita de la Universidad.

# BIOLOGÍA

## CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS BÁSICOS

Luis Ernesto Beltrán  
Ana María Campos  
Germán Ricardo Díaz  
Gonzalo Ernesto Fajardo  
Francisco de Paula Gutiérrez  
Adriana Marcela Lozano  
Claudia Delia Roza  
Gladys Roza Torres  
Diego Mauricio Valencia



# Contenido

<b>Prólogo</b> .....	19
<b>Capítulo 1. Introducción a la biología</b> .....	23
1.1. Introducción: ¿qué es la vida?.....	25
1.2. ¿Qué estudia la biología?.....	31
1.3. ¿Cómo lo estudia?.....	32
1.4. Cuestionario.....	33
1.5. Bibliografía.....	33
1.5.1. Bibliografía general.....	33
1.5.2. Lecturas complementarias.....	33
<b>Capítulo 2. Bases químicas: estructuras</b> .....	35
<b>Parte I. Moléculas pequeñas:         estructura y comportamiento</b> .....	37
2.1. Introducción.....	37
2.2. Constituyentes de la materia: átomos y elementos.....	38
2.3. ¿Cómo se mantienen unidos los átomos para formar moléculas?.....	39



2.4. ¿Qué hace tan especial al carbono para que alrededor suyo se organice la química de los organismos vivos?.....	40
2.5. Estructura y propiedades del agua.....	42
2.6. ¿Cuál es la importancia del pH?.....	47
2.7. Cuestionario.....	48
2.8. Bibliografía.....	54
2.8.1. Bibliografía general.....	54
2.8.2. Lecturas complementarias.....	54
2.8.3. Enlaces web de interés.....	54

## **Parte 2. Biomoléculas**..... 55

2.9. Ejercicio para discusión en clase.....	57
2.10. Introducción a las biomoléculas.....	58
2.11. Clasificación.....	58
2.12. Proteínas.....	60
2.13. Carbohidratos.....	61
2.13.1. Clasificación.....	61
2.14. Ácidos nucleicos.....	64
2.15. Lípidos.....	67
2.16. Cuestionario.....	70
2.17. Bibliografía.....	73
2.17.1. Bibliografía general.....	73
2.17.2. Lecturas recomendadas.....	73
2.17.3. Enlaces web de interés.....	73

## **Capítulo 3. Energía y enzimas**..... 75

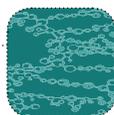
### **Parte I. Energía**..... 77

3.1. Flujos de energía en la biología.....	77
3.1.1. ¿Qué es la energía?.....	77
3.1.2. ¿Qué tipos de trabajo hace un ser vivo?.....	78
3.1.3. ¿Cómo es el flujo de energía a través de la biosfera?.....	80
3.1.4. ¿Cuáles son las conversiones especializadas de energía?.....	81
3.2. Las leyes de la termodinámica.....	82
3.2.1. Ley cero de la termodinámica.....	83
3.2.2. Primera ley.....	84
3.2.3. Segunda ley.....	86
3.2.4. Tercera ley.....	89

3.3. Cuestionario.....	90
3.4. Bibliografía.....	90
3.4.1. Bibliografía general.....	90
3.4.2. Lecturas recomendadas.....	90



<b>Parte 2. Enzimas.....</b>	<b>91</b>
3.5. Introducción.....	93
3.6. Catálisis enzimática.....	95
3.7. Complejo enzima-sustrato.....	97
3.8. Principios de cinética enzimática y factores que afectan la actividad enzimática.....	98
3.9. Coenzimas y cofactores.....	101
3.10. Regulación de la actividad enzimática.....	103
3.10.1. pH y temperatura del medio.....	103
3.10.2. Zimógenos.....	104
3.10.3. Inhibición enzimática.....	105
3.11. Enzimas alostéricas.....	106
3.12. Cuestionario.....	107
3.13. Bibliografía.....	107



## **Capítulo 4. El origen de la vida.....**

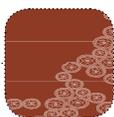
4.1. Introducción.....	111
4.2. Teorías sobre el origen de la vida.....	112
4.3. Origen del ácido desoxirribonucleico (ADN).....	121
4.4. La primera célula.....	121
4.5. Origen de la célula eucariótica y de la multicelularidad.....	122
4.6. Cuestionario.....	124
4.7. Bibliografía.....	124
4.7.1. Bibliografía general.....	124
4.7.2. Lecturas recomendadas.....	124



## **Capítulo 5. Estructura y función de la célula.....**

5.1. Introducción.....	127
5.2. Breve historia de los estudios celulares.....	130

5.2.1. Estructura y función celular.....	133
5.3. La membrana celular.....	139
5.4. Movimiento de sustancias.....	141
5.4.1. Transporte pasivo.....	142
5.4.2. Transporte activo.....	142
5.4.3. Movimiento de sustancias de alta masa molecular.....	143
5.5. Cuestionario.....	144
5.6. Bibliografía.....	144
5.6.1. Bibliografía general.....	144
5.6.2. Enlaces web de interés.....	144



## **Capítulo 6. Metabolismo**..... 145

6.1. Introducción.....	147
6.2. Glucólisis.....	149
6.2.1. Fermentación.....	153
6.3. Ciclo del ácido cítrico.....	154
6.4. Fosforilación oxidativa.....	158
6.5. Oxidación de ácidos grasos.....	161
6.6. Cuestionario.....	164
6.7. Bibliografía.....	164



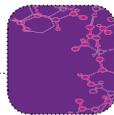
## **Capítulo 7. Fotosíntesis**..... 165

7.1. Introducción.....	167
7.2. La fotosíntesis.....	169
7.2.1. Reacciones dependientes de la luz.....	170
7.2.2. Reacciones independientes de la luz.....	171
7.3. La vía C4.....	172
7.4. Cuestionario.....	173
7.5. Bibliografía.....	173
7.5.1. Bibliografía general.....	173
7.5.2. Lecturas complementarias.....	173



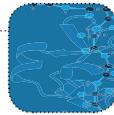
## **Capítulo 8. Reproducción celular**..... 175

8.1. Introducción.....	177
8.2. El ciclo celular procariótico.....	178
8.3. El ciclo celular eucariótico.....	178
8.3.1. La mitosis.....	179
8.3.2. La citocinesis.....	179
8.4. Cuestionario.....	180
8.5. Bibliografía.....	180
8.5.1. Bibliografía general.....	180
8.5.2. Lecturas recomendadas.....	180



## **Capítulo 9. Estructura y replicación del ADN**..... 181

9.1. Introducción.....	183
9.2. La estructura del ADN.....	183
9.3. La replicación del ADN.....	185
9.4. Cuestionario.....	188
9.5. Bibliografía.....	189
9.5.1. Bibliografía general.....	189
9.5.2. Lecturas complementarias.....	189



## **Capítulo 10. Síntesis de proteínas**..... 191

10.1. Introducción.....	193
10.2. La transcripción del ADN.....	194
10.3. El código genético.....	195
10.4. La traducción.....	196
10.5. Las mutaciones.....	197
10.6. Cuestionario.....	198
10.7. Bibliografía.....	199
10.7.1. Bibliografía general.....	199
10.7.2. Lecturas recomendadas.....	199



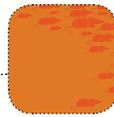
## **Capítulo 11. Intercambio genético, meiosis y ciclos de vida en eucariotas** ..... 201

11.1. Introducción .....	203
11.2. Variabilidad genética e intercambio genético .....	204
11.2.1. Efecto y transmisión de las mutaciones .....	204
11.3. Meiosis y reproducción sexual .....	205
11.3.1. El mecanismo de la recombinación .....	206
11.4. Mitosis, meiosis y ciclos de vida eucariotas .....	207
11.5. Cuestionario .....	208
11.6. Bibliografía .....	208
11.6.1. Bibliografía general .....	208
11.6.2. Lecturas recomendadas .....	208



## **Capítulo 12. Genética mendeliana** ..... 209

12.1. Introducción .....	211
12.2. Herencia de caracteres únicos .....	212
12.3. Herencia de características múltiples: distribución independiente .....	213
12.4. Patrones de herencia de genes ubicados en el mismo cromosoma .....	214
12.5. Herencia ligada al sexo y genes ligados al sexo .....	214
12.6. Variaciones al tema mendeliano .....	215
12.7. Herencia poligénica .....	216
12.8. Cuestionario .....	217
12.9. Bibliografía .....	217
12.9.1. Bibliografía general .....	217



## **Capítulo 13. Introducción a la ecología de poblaciones** ..... 219

13.1. Introducción .....	221
13.2. Ecología de poblaciones .....	222
13.2.1. Factores dependientes e independientes de la densidad .....	224
13.3. Cuestionario .....	225
13.4. Bibliografía .....	225

13.4.1. Bibliografía general .....	225
13.4.2. Lecturas complementarias .....	225

## **Capítulo 14. Evolución biológica** .....

227

14.1. Introducción .....	229
14.2. Las ideas de Charles Darwin .....	232
14.2.1. Una visión moderna de la teoría de la evolución .....	234
14.3. Evidencias de evolución .....	234
14.3.1. Microevolución .....	236
14.3.2. Macroevolución .....	237
14.3.2.1 El registro fósil .....	237
14.3.2.2. La diversidad de especies .....	238
14.3.2.3. La biogeografía histórica .....	239
14.3.2.4. Las homologías .....	239
14.4. Patrones de evolución .....	241
14.4.1. Coevolución .....	241
14.4.2. Evolución convergente .....	242
14.4.3. Evolución divergente .....	243
14.4.4. Anagénesis y cladogénesis .....	243
14.4.5. Radiación adaptativa .....	244
14.4.6. Extinción .....	245
14.5. Variación genética y evolución .....	245
14.5.1. Genética de poblaciones .....	246
14.5.2. El principio de Hardy-Weinberg .....	246
14.6. Mecanismos de evolución .....	248
14.6.1. Mutaciones .....	248
14.6.2. Migraciones (flujo de genes) .....	248
14.6.3. Deriva genética .....	249
14.6.4. Apareamiento no aleatorio .....	249
14.6.5. Selección natural .....	250
14.7. ¿Cómo se originan las especies? .....	250
14.7.1. Mecanismos de especiación .....	251
14.7.2. Mecanismos de aislamiento reproductivo (MAR) .....	252
14.8. Bibliografía .....	254
14.8.1. Bibliografía general .....	254
14.8.2. Lecturas complementarias .....	254
14.8.3. Enlaces web de interés .....	254





# AUTORES

## **Luis Ernesto Beltrán**

Es Biólogo de la Universidad de los Andes y Magister en Ecología Evolutiva de la misma Universidad. Actualmente es Profesor Asociado del Departamento de Biología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano a cargo de los cursos de Biología General, Evolución y Filogenia y Ecología de Poblaciones. Ha realizado proyectos de investigación relacionados con procesos de coevolución y en la actualidad sus investigaciones están dirigidas al modelado y simulación de procesos ecológicos desde una perspectiva aplicada.

## **Ana María Campos**

Se doctoró en química en la Universidad Nacional de Colombia en 2007. Actualmente se desempeña como docente e investigador del Departamento de Ciencias Básicas en la Universidad Jorge Tadeo Lozano, en la cual imparte la asignatura de Química Orgánica. Ha realizado trabajos de investigación en la Universidad de Alicante (España) y en el Centre for Surface Chemistry and Catalysis de la Katholieke Universiteit Leuven (Bélgica). Su área de especialidad es la química del estado sólido y la síntesis y caracterización de materiales. Durante los últimos seis años, sus investigaciones se han centrado en el área de desarrollo de catalizadores. Actualmente sus trabajos se enmarcan en el desarrollo de nuevos materiales como biomateriales.

## **Germán Ricardo Díaz**

Es Biólogo Marino y Magister en Ciencias Ambientales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Actualmente se desempeña como profesor del Departamento de Biología a cargo de los cursos de Biología General y Zoología General, en pregrado, y de Recursos Hidrobiológicos en la especialización en Impacto Ambiental de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Sus investigaciones están relacionadas en la evaluación de impactos ambientales.

## **Gonzalo Ernesto Fajardo**

Es Licenciado en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional, Magister en Entomología de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como profesor del Departamento de Biología a cargo de los cursos de Biología General y Zoología General. Sus intereses investigativos están relacionados con los procesos relacionados con la selección sexual en insectos tropicales.

## **Francisco de Paula Gutiérrez**

Es Biólogo Marino de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y Doctor en Ciencias Biológicas de la Universidad de Barcelona en Catalunya [España]. Actualmente se desempeña como profesor titular en la Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Biología, a cargo de los cursos de Problemática Ambiental, Legislación y la Cátedra Magistral de Humanidades II sobre tópicos de las ciencias. Sus intereses investigativos se centran en las políticas, manejo, administración y modelación de los recursos naturales, y en el estudio de las especies invasoras.

## **Adriana M. Lozano**

Química de la Universidad Nacional de Colombia con Maestría en Bioquímica de la misma Universidad. Ingresó a la UJTL en enero de 2001 al Departamento de Ciencias Básicas; desde entonces ha participado en cursos de Química General, Química Analítica e Instrumental, Bioquímica y Biología General. Hace parte del grupo de investigación en bioprospección y biotecnología y lidera la línea en biotecnología de enzimas.

## **Claudia Delia Rozo**

Bióloga de la Universidad Nacional de Colombia y Magister en Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Javeriana. Actualmente se desempeña como docente e investigadora de los Departamentos de Ciencias Básicas y Biología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, a cargo de las asignaturas de Bioquímica y Biología General. Hace parte del grupo de investigación en Bioprospección de la misma Universidad; su área de interés es la bioquímica vegetal. En los últimos años viene realizando estudios en polisacáridos de macrolagas colombianas, sus aplicaciones agroforestales y en industrias alimentarias; ahora mismo evalúa el valor nutritivo, capacidad antioxidante y toxicidad de algas rojas.

## **Gladys Rozo Torres**

Es Química egresada de la Universidad Nacional de Colombia y Magister en Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Javeriana. Actualmente se desempeña como docente e investigadora del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, hace parte del grupo de investigación en Bioprospección de la misma Universidad; su área de trabajo es la fisicoquímica de coloides. En los últimos años ha realizado investigaciones sobre síntesis y caracterización de coloides de interés agroindustrial. En el campo de la biología trabaja en los cursos de termodinámica.

## **Diego Mauricio Valencia**

Es Biólogo de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como profesor del Departamento de Biología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, a cargo de los cursos de Biología General. Sus intereses investigativos se centran en la sistemática filogenética de artrópodos acuáticos y en procesos de formación pedagógica en las ciencias naturales. Actualmente sus investigaciones están relacionadas con la diversidad de los crustáceos de agua dulce de Colombia.



# PRÓLOGO

Múltiples pueden ser los referentes históricos a plasmar en un texto, que aproxime a los estudiantes y a los entusiastas en los temas de la biología. En 1944, Erwin Schrödinger dejó planteadas muchas ideas y propuestas alrededor del tema en su libro *¿Qué es la vida?* Hizo una consideración básica y propuso que "los sistemas vivos debieran tratarse como sistemas físicos". En 1999 se retoman sus planteamientos y se propone una visión de cuáles podrían ser los desarrollos futuros de la biología, en otro texto, *La biología del futuro*, donde Manfred Eigen expresa: "Nos encontramos en la última década de este siglo; ninguno centuria anterior ha tenido un efecto tan profundo sobre la vida humana. Puede que ninguna otra centuria haya generado tal grado de recelo y temor, hasta el punto de que han arraigado en la conciencia humana. Nos hemos vuelto desconfiados. Hoy en día, cuando se da a conocer un descubrimiento la primera pregunta ya no es, como antes: ¿qué servicio prestará a la humanidad?, sino ¿qué perjuicios causará y en qué forma mermará nuestro bienestar y nuestra salud?". Pero definitivamente, frente a este interrogante es necesario decir que los cambios acaecidos en las últimas décadas han sido realmente para un mejor bienestar.

En su obra *Aún no somos humanos*, el profesor Eudald Carbonell realiza una muy buena fundamentación antropológica de la ciencia. Señala que hace 2,4 millones de años, acuciados por la crisis climática que sobrevino en África,

algunos primates empezaron a golpear piedras para fabricar instrumentos que usaban para triturar y cortar huesos. Los homínidos del Plioceno pudieron obtener así el tuétano de los huesos y en consecuencia proteínas de gran calidad. Datan de la misma época la fabricación de los primeros instrumentos líticos y el primer aumento cerebral. La conjunción de bipedismo, producción de instrumentos y aumento cerebral jugaron papel crucial. El posterior descubrimiento y control del fuego serían igualmente decisivos, pues hizo posible la socialización y la comunicación entre grupos de homínidos, favoreciendo la aparición del lenguaje articulado. Con este punto de partida se despliega una obra recomendable donde resulta evidente el papel que los primeros atisbos de ciencia y tecnología jugaron en nuestra conformación como especie "*sapiens*". El salto cualitativo que en aquellos tiempos se produjo dilató la conciencia de la realidad del homínido, tanto, que lo convirtió en hombre. Con las pruebas acopiadas, el darwinismo contribuyó a que se instalase en nuestra mente la idea de "proceso en marcha", de evolución, el cual, después supimos, no solamente afectaba a los seres vivos, sino a toda la materia y al mismo universo. La descripción de la biomolécula básica de la vida por Watson y Crick en 1953 y toda la pléyade de genetistas e investigadores que contribuyeron a entenderla, fue otro hito que nos acercó al resto de las especies vivas y en definitiva a la realidad que nos subyace.

Hoy, a comienzos del siglo **xxi**, cuando se anuncia y practica la clonación, el control del envejecimiento celular, las terapias con células madre, la clonación terapéutica, los implantes con *biochips*, las modificaciones de algunos órganos, las salidas prolongadas al espacio, no es fácil intuir qué nuevos cambios se nos avecinan, y qué tanto pueden acabar dejando irreconocible a la especie humana respecto a los cánones y criterios que hoy manejamos.

Si la simbiosis del hombre con la ciencia ha dado tantos frutos hasta ahora, más lo será en el futuro. Ninguna especie viva sobrevive para siempre. Al cambiar las condiciones para las que se encuentran adaptadas, la naturaleza siempre respondió con la misma estrategia: *nuevas familias, géneros o especies sustituyen a las que desaparecen*. De esta manera la vida ha logrado mantenerse después de numerosas extinciones. La conformación de la vida nunca ha sido estable, pues se modifica, cambia, evoluciona, se reemplaza; la estabilidad biológica opera a nivel de los seres en sí mismos, pero en la globalidad y existencia de los mismos, es mutable.

Bajo las circunstancias actuales de un gran y rápido avance tecnológico y de acceso a la información que se produce en el mundo científico, el texto *Biología. Conceptos y fundamentos básicos* pretende ser una herramienta académica que facilite los procesos de enseñanza-aprendizaje en el ciclo de

fundamentación básica de cualquier curso relacionado con las ciencias de la vida. Es producto de un continuo proceso de reflexión e investigación pedagógica dentro de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, tendiente a reducir la posibilidad de confusión conceptual y aumentar el interés y la motivación de los estudiantes por la biología y sus aplicaciones en las diferentes ramas del saber.

*Biología. Conceptos y fundamentos básicos* es una herramienta complementaria de estudio que facilitará los procesos de estructuración del pensamiento biológico por parte de los estudiantes hacia el entendimiento de su cotidiano, a través de una serie de preguntas y cuestionamientos que surgen de la aplicación de los conceptos de cada uno de los temas abordados, pretendiendo que los estudiantes se fascinen ante la complejidad de la vida y así continúen aprendiendo y buscando respuestas, soluciones y caminos hacia la comprensión de aquello que, parece, nunca será cabal, ni finalmente explicado. El espacio para el aporte está abierto; ningún concepto en biología ha sido formalmente concluido.

Francisco de Paula Gutiérrez B.  
Luis Ernesto Beltrán F.





# Capítulo I

## Introducción a la biología



Francisco de Paula Gutiérrez Bonilla



# Introducción a la biología

Francisco de Paula Gutiérrez Bonilla\*

## 1.1. Introducción: ¿qué es la vida?

Intentar aproximarse a una definición de la vida ha sido una tensión constante entre mecanicismo y holismo a lo largo de la historia de la biología y consecuencia inevitable de la vieja dicotomía entre sustancia (materia, estructura, cantidad) y forma (patrón, orden cualidad). El aspecto biológico es más que una forma, más que una configuración estática de componentes en un todo. Hay un flujo continuo de materia a través de un organismo vivo mientras que su forma se mantiene. Hay desarrollo, hay evolución. Por tanto, la comprensión del aspecto biológico está ligada a la comprensión de los procesos metabólicos y relativos al desarrollo.

En el alba de la filosofía y la ciencia occidentales, los pitagóricos "número" o patrón, de sustancia o materia, lo veían como algo que limitaba la materia y le daba forma. En palabras de Gregory Bateson:

El asunto tomó la forma de: "¿Preguntas de qué está hecho –tierra, aire, fuego–, o cuál es su patrón?". Los pitagóricos preferían inquirir sobre el patrón a hacerlo sobre la sustancia" (Bateson, 1972).

\* Biólogo Marino, Ph.D. E-mail: francisco.gutierrez@utadeo.edu.co

Aristóteles (384 a.C.), el primer biólogo de la tradición occidental, distinguía también entre materia y forma, pero al mismo tiempo las vinculaba mediante el proceso de desarrollo (en la filosofía aristotélica, estado de perfección hacia el cual tiende cada especie de ser).

Los presocráticos –que todo lo intentaron y concibieron de manera general, pero anticipada a su época– buscaron sin cansancio identificar “el principio primero o la ‘materia prima’ básica de la que proviene cada cosa”. Buscaron sin cansancio aplicar su creencia en la realidad a la cuestión filosófica esencial: la distinción entre apariencia y realidad. Por ejemplo, ¿cómo es posible que una vaca coma hierba y la transforme en leche? ¿Ya la hierba contenía leche de algún modo latente? Si no, ¿cómo pudo una sustancia convertirse en otra? Cuestiones como las anteriores pronto llevaron a los filósofos a preguntarse por la naturaleza fundamental de cada cosa, y si algunas son observadas únicamente en su apariencia y no en algo fundamentalmente real, entonces ¿qué sustancia o sustancias permanentes existen detrás de las apariencias? ¿Hay alguna sustancia original y común de la cual proceda toda la variedad de cosas existentes en el mundo?

Los griegos supusieron la existencia de tal sustancia y la denominaron *archée*, cuyo significado es “principio”. Entre los filósofos, posteriormente conocidos como “cosmólogos presocráticos” de diferentes escuelas, que intentaron llegar a su definición de este “principio”, tenemos a:

- Tales de Mileto (639 a.C.), que lo identificó como “lo húmedo o el agua”. Después de todo, el agua es ejemplo excelente de una sustancia

que cambia de apariencia al adoptar estados diferentes (sólido, líquido y gaseoso). Más aún, el agua es esencial para cualquier ser vivo; ésta era otra razón para proponer el agua como sustancia primigenia y fundamental.

- Anaximandro (611 a.C.) fue alumno de Tales de Mileto y desarrolló una idea original. Su teoría: el agua era demasiado particular para ser el *archée*. En efecto –reflexionó–, si el agua es la fuente de todo, ¿de dónde proviene el polvo? Y procedió a elaborar la teoría de que el *archée* debía ser la menos específica de las sustancias, tal vez sin características propias, pero con la capacidad para convertirse en muchas otras cosas. Mediante este razonamiento, Anaximandro llegó a la idea de una sustancia que en sí misma no tuviera característica alguna percibida directamente por los sentidos. La llamó lo “infinito” o lo “sin límites”, denominándolo el *ápeiron*, especie de superelemento u organización inmortal e indefinida, distinta del cosmos y en perpetuo movimiento, sustancia infinita, o necesidad, que impone equilibrio entre el calor y lo frío, lo húmedo y lo seco. Una especie de enorme masa que engendra y gobierna el cosmos.

- Anaxímenes de Mileto (585 a.C.) consideró que el infinito de Anaximandro era un concepto totalmente vago. ¿Cómo podía una sustancia material carecer por completo de características específicas? La idea pareció un disparate. Volvió entonces a una idea más cercana a la noción original de Tales, pero en vez de agua Anaxímenes sugirió el “aire” como el *archée*, dotado de infinitud y movimiento perpetuo, a la vez

que animaba al mundo: tal como nuestra alma, que es aire, nos sostiene, así el soplo y el aire circundan al mundo entero.

Pitágoras, Heráclito y Parménides fueron otros filósofos presocráticos originarios de distintas partes del imperio griego (sur de Italia y Éfeso), del siglo V a.C. que también hicieron sus aportes a las anteriores concepciones.

- Pitágoras (580 a.C.) rechazó las explicaciones sobre el *archée* sustentadas por la escuela de Mileto. Utilizó las matemáticas para explicar la racionalidad del cosmos. Consideró que los "números" imponían orden o forma en lo que de otro modo hubiera sido un caótico mundo de apariencias perceptibles. Vio en ellos la explicación básica de la realidad, puesto que los números ayudan a explicar los intervalos existentes entre las notas y los acordes musicales. Aplicó el mismo rigor matemático al movimiento de los cuerpos celestes, que –según sus cálculos– funciona conforme a un tipo similar de armonía. Ésta se llamó posteriormente la "música de las esferas". Según él, todas las cosas son una combinación de lo ilimitado y lo limitado; este dualismo se reconcilia mediante el principio de la "armonía".

- Heráclito de Efeso (544 a.C.) es el filósofo antiguo de Occidente con más influencia oriental. Observó que toda la realidad se caracteriza por el cambio. Según su teoría, lo real de ninguna manera puede ser una sustancia; lo real es el "cambio" en sí mismo. Para ejemplificarlo, Heráclito empleó la imagen del "fuego". No es que imaginara que el fuego era el *archée*, exactamente en el sentido en que la escuela de Mileto

propusiera como *archée* el agua, el aire y lo ilimitado, sino que –según pensaba– el "fuego" ayudaría a representar de manera concreta cómo es la realidad, a su vez, lo entendía como activo, inteligente y creador.

- Parménides (540 a.C.) propuso un análisis que casi fue el opuesto exacto del de Heráclito. Heráclito concibió el cambio como la única realidad última. Parménides arguye que el cambio genuino es imposible. Lo que fundamentalmente existe –*el archée*– es el "ser" mismo. Según Parménides, el ser es una sustancia material (algo parecida al ilimitado de Anaximandro) que ocupa todo el espacio del universo. Por definición, el no-ser no existe. Ahora bien, el ser ocupa todo, entonces no hay lugar en que no se halle el ser y, así, es imposible el cambio fundamental. En efecto, el cambio implica movimiento y éste presupone un espacio vacío –inexistente según Parménides–.

- Aprovechando el saber existente en la Sicilia del quinto siglo antes de la era cristiana, Empédocles (490 a.C.) llegó a la conclusión de que había cuatro elementos capaces de explicar toda la multiplicidad de las cosas existentes en el mundo: la tierra, el aire, el fuego y el agua.

- Anaxágoras (500 a.C.), griego contemporáneo de Empédocles, llevó la teoría de éste a otro nivel. Si los cuatro elementos podían explicar las variaciones, una explicación aún más compleja podía derivarse de postular la existencia de una "cantidad infinita de semillas o gérmenes", ninguna de las cuales se parecía entre sí. Ellas –creía Anaxágoras– darían la razón de muchas diferencias cualitativas percibidas entre

las cosas. En todo lo existente –escribió– hay una mezcla de cada cosa. El aspecto propio de cada objeto es el resultado de las proporciones en que se mezclan en él las diversas semillas o gérmenes, el "nous". Vista frente a los resultados de los trabajos de Gregor Mendel sobre guisantes, que le permitieron formular los cimientos de la genética en 1865, lo denominado por éste como "factores" son casi en su integralidad semejantes al concepto de "semillas o gérmenes" postulado por Anaxágoras.

- El último de los denominados pluralistas (incluidos Heráclito, Parménides y Anaxágoras) del siglo quinto anterior a la era cristiana fue Demócrito (460 a.C.), quien junto a Leucipo (420 a.C.) desarrolló una teoría que se anticipó a la comprensión del mundo según la física clásica. La realidad –escribió Demócrito– está compuesta por "átomos" y el "vacío". Consideró a los átomos como partículas indivisibles que no podían ser creadas ni destruidas. A diferencia de Parménides, Demócrito postuló la existencia del vacío (del cuadro vacío hacia el cual pueden desplazarse las piezas del rompecabezas de números). Basado en su teoría, extrajo la conclusión de que el peso de los cuerpos compuestos depende de la densidad de sus átomos.

Durante la segunda mitad del siglo XIX, el mecanicismo volvió a ganar terreno, cuando el recientemente perfeccionado microscopio condujo a notables avances en biología. El siglo XIX es más conocido por el desarrollo del pensamiento evolucionista, pero también vio la formulación de la teoría celular, el principio de la moderna embriología, el ascenso de la microbiología y el descubrimiento de las leyes de la herencia genética. Estos nuevos descubrimientos anclaron firmemente la biología en la física y la química y los científicos redoblaron sus esfuerzos en la búsqueda de explicaciones físico-químicas de la vida.

Situándonos en la era actual y como lo expresara Gould (1989): "las verdades obvias pueden resultar sumamente difíciles de definir". La definición de la vida como fenómeno básico en la explicación de sus orígenes, en sus formas y manifestaciones ha caído en diversas etapas del desarrollo de las ciencias en aproximaciones, visiones y afirmaciones reduccionistas, como la newtoniana: "los seres biológicos son solamente objetos físicos altamente complejos y por tanto reducibles en última instancia de la reina de las ciencias –la física–". Cualquiera que sea el concepto, nada está cabalmente resuelto. En primer lugar, nos enfrentamos al desafío de captar en una formulación explícita la cualidad de la vida: ¿cómo expresar aquello que comparten los microorganismos, las plantas, los animales y los hombres y que los diferencia del mundo inanimado de las rocas y las galaxias? Por extraño que parezca, las ciencias de la vida generalmente no establecen esta definición, ni criterios, a pesar de la extensa literatura sobre los orígenes de la vida y sus modelos explicativos.

Cuando Rudolph Virchow enunció en 1855 el principio de que todos los seres vivos se originan a partir de otros preexistentes (*omnis cellula ex cellula*), se inició la teoría celular en su forma moderna, y la atención de los biólogos se desplazó de los organismos a las células. Las funciones biológicas, más que reflejar la organización del organismo como un todo, se empezaron a ver

como el resultado de las interacciones entre los componentes básicos celulares. Valga anotar que desde 1665 se inició el estudio de la célula y hay aspectos sobre los cuales todavía se está en pleno estudio, lo que implica asuntos aún no terminados. La teoría celular, como fuente de explicación de la vida, se resume en cuatro postulados fundamentales:

- La célula es la unidad anatómica de los seres vivos; todos los seres vivos (vegetales, animales, hongos, protistas y móneras) están constituidos por células y productos celulares.
- La vida sólo existe en la célula. Las funciones vitales tienen relación con la actividad de la célula. Todas las células funcionan según un plan unitario; los procesos vitales son extraordinariamente similares.
- Las funciones de los seres pluricelulares son el resultado de la suma de las funciones de cada una de sus células.
- Sólo se forman nuevas células por división de células preexistentes. Un corolario de este postulado es que todo organismo se origina a partir de otro preexistente. No existe la generación espontánea, ni siquiera en los más simples microbios. Las enfermedades infecciosas se adquieren porque entran al cuerpo agentes vivos invisibles que se multiplican.

Nadie, a partir de 1665, ha retomado la teoría del *archée*, pero si alguien lo hubiese estimado conveniente habría podido postular que el "*archée*" era la "célula", y, a partir de los experimentos de Gregor Mendel (1822-1884) –quien tipificó las características fenotípicas (aparición externa) de los guisantes y denominó los "caracteres"–, hubiese podido establecer, como él lo hizo, que el "*archée*" eran los "elementos" y que en su contexto estaban referidos a las entidades hereditarias separadas. Los "elementos" y "caracteres" han recibido posteriormente infinidad de nombres, pero hoy los conocemos de forma universal, por la que sugirió en 1909 el biólogo danés Wilhem Ludvig Johannsen, como "genes".

A partir de planteamientos del físico austriaco Erwin Schrödinger en 1944, en su libro *¿Qué es la vida?*, anticipado a su época y para la ciencia, surgió una hipótesis clara y convincente sobre la estructura molecular de los genes (unidades básicas de la herencia) y abrió una nueva frontera de la ciencia: la biología molecular. Este nuevo campo generó una serie de descubrimientos triunfales que culminaron con el desciframiento del código genético (gracias a Watson y Crick en 1953). No obstante, estos espectaculares avances no consiguieron aproximar a los biólogos a la solución del enigma planteado en el título del libro de Schrödinger. Tampoco eran más capaces de responder a las múltiples cuestiones vinculadas que han desafiado a los científicos y filósofos durante centenares de años: ¿cómo evolucionaron complejas estructuras partiendo de una colección aleatoria de moléculas? ¿Cuál es la relación entre mente y cerebro? ¿Qué es la conciencia? Pero el mismo Schrödinger se lo plantea al inicio de su libro: "El problema vasto, importante y muy discutido es éste: ¿cómo pueden la física y la química dar cuenta de los fenómenos espaciotemporales que

tienen lugar dentro de los límites espaciales de un organismo vivo?" El tema sigue vigente y sus explicaciones son parciales.

Para 1953, la biología molecular había encontrado los componentes básicos de la vida, pero ello no ayudó a los biólogos a comprender las acciones integradoras vitales de los organismos vivos. En 1970, Sydney Brenner (citado por Judson, 1979) hizo algunas reflexiones aún no resueltas por la ciencia:

De algún modo, podríamos decir que todo el trabajo realizado en los campos de la genética y de la biología molecular de los últimos sesenta años podría ser considerado como un largo intervalo [...]. Ahora que el programa ha sido completado, nos encontramos de nuevo con los problemas que se dejaron sin resolver. ¿Cómo se regenera un organismo dañado hasta recuperar exactamente la misma estructura que tenía antes de producirse el daño? ¿Cómo forma el huevo al organismo? [...]. Creo que en los próximos veinticinco años deberemos enseñar otro lenguaje a los biólogos [...]. Desconozco aún su nombre, ¿quién sabe? [...]. Quizás sea incorrecto pensar que toda la lógica se halla en el nivel molecular. Quizás debamos ir más allá de los mecanismos de relojería.

A partir de estos comentarios, ha emergido ciertamente un nuevo lenguaje para la comprensión de los complejos y altamente integradores sistemas de vida. Distintos científicos le dan nombres diferentes: "teoría de los sistemas dinámicos", "teoría de la complejidad", "dinámica no lineal", "dinámica de redes", etc. Los "atractores caóticos", "los fractales", "las estructuras

disipativas", "la autoorganización" y las "redes autopoiesicas" son algunos de los conceptos clave, soporte de estas teorías.

Este planteamiento de la comprensión de la vida es seguido por sobresalientes investigadores y sus equipos en todo el mundo. Ilya Prigogine en la Universidad de Bruselas, Humberto Maturana en la Universidad de Chile en Santiago, Francisco Varela en la Escuela Politécnica de París, Lynn Margulis en la Universidad de Massachusetts, Benoit Mandelbrot en la Universidad de Yale y Stuart Kauffman en el Instituto de Santa Fe, por citar sólo algunos. Varios descubrimientos de estos científicos, aparecidos en libros y publicaciones especializadas, han sido ensalzados como revolucionarios, pues han generado nuevas concepciones y nuevos planteamientos.

La biología ha evolucionado hasta verse a sí misma y sus problemas de manera ecosistémica, es decir, todo interconectado e interdependiente. Y en el presente siglo hemos cambiado el paradigma mecanicista por el ecológico. La tensión básica se da sobre las partes y el todo. El énfasis sobre las partes se ha denominado mecanicista, reduccionista o atomista, mientras que el énfasis sobre el todo recibe los nombres de holístico, organicista o ecológico. En la ciencia del siglo xx, la perspectiva holística ha sido conocida como "sistémica" y el modo de pensar se comporta como "pensamiento sistémico". El pensamiento sistémico fue encabezado por los biólogos, quienes pusieron de relieve la visión de los organismos vivos como totalidades integradas.

Estamos ahora en la era de la biotecnología y las explicaciones sobre la vida vuelven a ser reduccionistas; hemos pasado de la "teoría celular" a las teorías "de la biología molecular", que apunta a afirmar: "un sistema ARN (o ADN) que es capaz de replicarse a sí mismo autocatalíticamente y de mutar en este proceso".

Podríamos seguir exponiendo planteamientos, teorías y argumentos que posiblemente no nos lleven sino a modificar y plantear nuevos reduccionismos. Además, y pensando en la biología molecular, estamos ahora ante la "evidencia" de que la vida podría ser explicada por los elementos de la herencia y su modo de operación universal. Difícilmente se podría tomar una postura definitiva sobre esta última afirmación, por lo que cada biólogo debiera asumir de manera plena su comprensión, hasta intentar lograr una definición "adecuada y presente", pero teniendo claro que a futuro la ciencia nos podría dotar de nuevas fuentes y razones para ampliar nuestra muy predefinida concepción.

Finalmente, se podría decir que estamos en riesgo biológico, nos enfrentamos a una serie de problemas globales que dañan la biosfera y la vida humana de modo alarmante y que podrían convertirse en irreversibles en breve. Disponemos ya de amplia documentación sobre la extensión y el significado de dichos problemas, por lo que estamos ante la posibilidad de pérdida de aquello que no conocemos, ni podemos con certeza definir.

## 1.2. ¿Qué estudia la biología?

Biología proviene del griego *bios*, que significa vida, y *logos*, que significa ciencia. Es decir, la biología es la ciencia de la vida. Se encarga de estudiar todos los aspectos relacionados con la vida: tanto los mecanismos de funcionamiento del interior de los propios organismos, tanto animales, vegetales y humanos, como la relación de los organismos entre sí y con el medio. Esto genera una estructura de las ciencias biológicas y disciplinas como la biología marina, la botánica, la ecología, la embriología, la microbiología, la genética y la zoología, por mencionar sólo algunas.

La historia de las ciencias demuestra que la humanidad, en general, y, en particular, los pensadores de todas las épocas y modernamente los investigadores, dotados de mejores herramientas, han abandonado en su mayoría los planteamientos reduccionistas o mecanicistas con los cuales en muchas instancias se ha abordado el estudio de la vida y en consecuencia de los organismos y sus interrelaciones. La vida en sí misma –sin llegar a poseer una definición estática y unificada– se soporta en principios que son comunes a todas las ciencias. Estos principios son en esencia: causalidad natural, uniformidad en el espacio y percepción común. Sin llegar a ser el más importante, la "causalidad natural", que significa en esencia: "todos los sucesos naturales tienen causas naturales que potencialmente somos capaces de comprender" (Audersik *et al.*, 2003), pueden efectivamente ayudar a comprender de manera ecosistémica todos los componentes e integradores físicos, químicos y matemáticos que nos permiten abordar el estudio de los temas

biológicos, que tienen diversos niveles: los organismos, sus estructuras, sus funciones, sus cualidades, sus diferencias y sus interrelaciones.

### 1.3. ¿Cómo lo estudia?

La biología como ciencia se pregunta, y lo hará durante mucho tiempo, sobre el funcionamiento de la vida y de las interrelaciones entre sus diferentes formas, dependencias y similitudes. Por lo que la investigación científica está dotada de rigor que permite postular principios, teorías, y finalmente leyes, la biología –como ciencia y en referencia a su especial contexto– no parece tener aportes específicos y aplicables a todas las ciencias, pues se basa precisamente en la física, la química y lo modelado a partir de las matemáticas. Podrían ser excepciones al interior de la biología misma, y para aquellos organismos que tienen reproducción sexual, las tres leyes de Mendel y, bioquímicamente hablando y para todos los organismos, la ley de Chargaff (1905–2002), que permitió demostrar que en el ácido desoxirribonucleico (ADN) la cantidad de guanina (G) es igual a la de citosina (C) y el número de unidades de adenina (A) es igual al de timina (T). Esto estableció, como estructura del ADN, los pares de bases:  $G = C$  y  $A = T$ .

El proceso de conocer se da cuando surge una relación entre un sujeto que conoce y un objeto presente o no, y supone casi una apropiación del objeto por el sujeto, quien adquiere certeza del mismo.

Abordar el conocimiento de algo o de la realidad tiene en esencia dos caminos. El primero, el espontáneo o cotidiano, se adquiere sin ningún proceso objeto de planificación y sin el uso de medios especialmente planificados, que puede terminar en una construcción mental ya de hechos o fenómenos, quedando en nociones empíricas, casi científicas. El segundo, la forma como se aborda la ciencia, es a través del conocimiento científico, que exige mayor rigor con el fin de describir o encontrar regularidades en los fenómenos, hacer su descripción, explicarlos o predecirlos. Todo supone modelos de investigación que están subordinados a cuatro postulados: (1) observar, (2) formular una hipótesis, (3) efectuar un experimento y (4) concluir. Todos estos pasos suponen una búsqueda intencionada en donde necesariamente se establece un límite a los objetos, y se prevé con exactitud los modelos de investigación en aras de encontrar un resultado. A su vez, es posible decir que son tres los pasos principales para realizar satisfactoriamente un experimento en el campo de la biología: (1) elegir el organismo idóneo para el trabajo, (2) proyectar y ejecutar correctamente el experimento y (3) analizar los datos como es debido (Audersik *et al.*, 2003).

En ciencia no hay nada terminado y en biología, la selección natural y la evolución –pilares fundamentales– han establecido cambios y modificaciones que no podemos “con toda la certeza científica prever cualitativa o cuantitativamente”, de ahí una nueva concepción denominada “*evolution and development*” (“evolución y desarrollo”) que surge como un nuevo paradigma de trabajo y análisis para la biología, estando soportada, entre otros aspectos, en:

- La teoría sobre la "realidad" de la evolución. La evolución es un fenómeno real. Es una teoría con consenso absoluto.
- La teoría sobre la "historia" de la evolución. Es decir, el conjunto de inferencias e hipótesis acerca del parentesco entre los seres vivos. Se fundamenta en la biología comparada.
- La teoría sobre el "mecanismo" de la evolución. En este campo existe menos consenso, y es poco lo que se conoce.

## I.4. Cuestionario

- 1) ¿Cómo se aplicaron a la biología el pensamiento mecanicista y el holístico?
- 2) ¿Cuáles son los aportes a la biología de: Ilya Prigogine, Humberto Maturana, Francisco Varela, Lynn Margulis y Benoit Mandelbrot?
- 3) ¿Qué es la vida? Intente una aproximación al tema.
- 4) ¿Es válido el nuevo paradigma de la biología: evolución y desarrollo?

## I.5. Bibliografía

### I.5.1. Bibliografía general

- ASIMOV, I. 1966. *Breve historia de la biología*. Buenos Aires: Universitaria.
- AUDESIRK, T. & G. AUDESIRK. 1996. *Biología: la vida en la Tierra*. Madrid: Prentice Hall.
- BATESON, G. 1972. *Steps to an Ecology of Mind*. Nueva York: Ballantine.
- BERNSTEIN, M.P., S.A. SANDFORD & L.J. ALLAMANDOLA. 1999. «Materias primas de la vida». En: *Investigación y Ciencia*. Septiembre: 4-12.
- BIGGS, A., C. KAPICKA & L. LUNDGREN. 2000. *Biología, la dinámica de la vida*. México: McGraw-Hill.
- FEYNMAN, R. 1983. «¿Qué es la ciencia?». En: *Naturaleza, Educación y Ciencia*. (3): 7-14.
- GOULD, S.J. 1989. *Wonderful Life*. Nueva York: W.W. Norton & Co. (Edición en español: *La vida maravillosa*. Barcelona: Crítica, 1991).
- JUDSON, H.F. 1979. *The Eighth Day of Creation*. Nueva York: Simon & Schuster.
- KUHN, T. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press (Edición en español: *Qué son las revoluciones científicas y otros ensayos*. Paidós Ibérica, 1989).
- MITCHELL, H.B. 1998. *Raíces de la sabiduría*. México: International Thomson. 537 pp.
- SCHRÖDINGER, E. 1944. *What is Life?* Cambridge: Cambridge University Press. [Edición en español: *¿Qué es la vida?* Barcelona: Tusquets (Metatemas 1)].

### I.5.2. Lecturas complementarias

- MANDELBROT, B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. Nueva York: Freeman. (Edición en español: *Los objetos fractales*. Barcelona: Tusquets, 1988).
- MARGULIS, L. & D. SAGAN. 1995. *Microcosmos*. Nueva York: Tusquets.
- MATURANA, H. & F. VARELA. 1972. *Autopoiesis. The Organization of the Living*. Publicado originalmente con el título *Máquinas y seres vivos*, Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1973.
- KAUFFMAN, S. 1991. «Antichaos and Adaptation». En: *Scientific American*, agosto.
- PRIGOGINE, I., & P. GLANSDORFF. 1971. *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*. Nueva York: Wiley and Wilkins.



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
**JORGE TADEO LOZANO**  
Dirección de Publicaciones



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
**JORGE TADEO LOZANO**  
[www.utadeo.edu.co](http://www.utadeo.edu.co)

