



## Textos de biología y explicaciones del mundo biológico

Aníbal R. Bar

Profesor Adjunto. Cátedra Antropología General. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. UNNE. Tel. 03783-457950. Av. Libertad 5740. Corrientes

### Resumen

El presente trabajo tiene por objeto indagar sobre los modelos de explicación científica que se reproducen en los libros de texto de biología del nivel medio; como asimismo, las modelizaciones que éstos transmiten acerca de los seres vivos y sus manifestaciones. Se analizan 11 textos para el concepto de tropismo; 9 para absorción, transporte y transpiración; y 8 para fotosíntesis. Cada una de las explicaciones se clasifican en, causales, causales-funcionales y funcionales, según la clase de vínculos entre variables. Se relaciona cada clase de explicación con los tipos de conceptos implicados y la población estudiantil a la cual va dirigida. Se discuten las implicancias metodológicas y epistemológicas de los conceptos analizados desde diferentes perspectivas, en las que se incluyen la referencia a modelos mecánicos, procesuales y teleonómicos.

### Abstract

The present work intends to investigate on the models of scientific explanation which appear in biology textbooks in high schools as well as the kinds of modelling they transmit about living creatures and their manifestations. 11 texts for the tropism concept, 9 for absorption, transport and transpiration, and 8 for photosynthesis have been analysed. Each one of the explanations has been classified into causal, causal-functional, and functional according to the class of links between variables. Each kind of explanation is related to the types of implied concepts to the student population to which it is meant for. The methodological and epistemological implications of the analysed concepts have been discussed from different points of view among which the reference to mechanic, procesual, and teleonomic models has been included.

### Introducción

Los fenómenos biológicos, dada sus características peculiares, han sido motivo de arduos debates en lo que a su naturaleza respecta, debate que trasciende el terreno de lo fenoménico para instalarse también en el plano de sus explicaciones.

Cómo explicar un fenómeno biológico es una pregunta que no se responde fácilmente. Los entes de naturaleza biológica, aunque constituidos de materia factible de análisis físico-químico, no son reductibles a meros elementos materiales. La vida es de naturaleza compleja, complejidad que abarca todas sus manifestaciones, aún en las formas más elementales.

La tradición mecanicista, de gran fuerza a partir del siglo XVIII, ha concebido el mundo biológico desde los modelos de la física newtoniana, modelos preponderantemente causales. La causalidad así concebida es de orden lineal, las causas preceden a los efectos, a la vez que ambas covarían en el espacio y en el tiempo,

asimetría que se constituye en uno de los elementos centrales de esa tesis. Según esta perspectiva la explicación teleológica, o dirigida por metas u objetivos, no reúne requisitos necesarios para constituirse en explicación científica, dado que la causa y el efecto se hallan invertidos espacial y temporalmente, respecto del modelo causal imperante. Al respecto señala Mayr (1991) que Darwin cuida de no mencionar la dirección de las variaciones como previsión de circunstancias futuras, sino como un proceso ciego y no dirigido. En este sentido, este mismo autor afirma que la concepción newtoniana no ha sido un lastre para la biología, sino más bien un modelo fructífero para la explicación de los fenómenos en ese dominio.

En el presente siglo, y sobre todo a partir del auge del funcionalismo, la biología toma otra clase de explicación, la funcional, con cierta similitud a las de índole teleológica. El carácter común con lo teleológico reside en la alteración secuencial de las causas respecto de los efectos.

Mucho se ha discutido sobre la naturaleza de las explicaciones funcionales, discusiones que condujeron a variados intentos de solución, desde la reducción a explicaciones causales, hasta su asimilación con la causa final o teleológica.

Algunos autores, entre los que se cuenta Piaget (1990), postulan una clase diferente de causalidad, reconociéndola como operante en sistemas autodirigidos y autodeterminados, propiedades que no excluyen las interacciones con el medio y los mecanismos de autorregulación. La autodeterminación no supone intencionalidad sino una perspectiva cíclica o circular de la causalidad, donde la causa y el efecto no siguen un orden lineal sino que se retroalimentan al interior de un sistema dinámico. En este sentido, el comportamiento exploratorio de los animales y la resolución de los problemas planteados por el ambiente crean nuevas condiciones para la evolución de sistemas genéticos. Así, el organismo puede seleccionar su ambiente y, por lo tanto, exponerse él mismo y su descendencia a un nuevo conjunto de presiones de selección (Mayr, 1963).

La causa eficiente o externa al fenómeno lleva implícita los modelos de la física mecánica; la causa final o teleológica, las causas recíprocas y los circuitos de pseudo-retroalimentación refieren a los modelos organísmicos; y la causa operando en verdaderos circuitos de retroalimentación conllevan a modelos teleonómicos, (Buckley, 1982).

Las explicaciones sobre los fenómenos biológicos producen, explícita o implícitamente, modelizaciones acerca de la naturaleza de los fenómenos en juego.

La explicación científica como parte del discurso de la ciencia, y al igual que otras formas de discurso, se difunde a través de sus propios canales; uno de ellos es el texto, el que cumple un papel trascendente como difusor de modelos del mundo biológico, a la vez modelos de entidad y modelos de descripción y explicación. En lo que respecta a investigaciones sobre textos de biología pueden citarse los de Swarts, Anderson y Swetz (1994), en los que se compara bibliografía de Estados Unidos, la Unión Soviética y China, considerando contenido, número de temas tratados y la importancia otorgada a cada tema.

Otros trabajos sobre la temática son los orientados a conocer qué se está enseñando en el aula (Jiménez Aleixandre, 1994; Jeffery y Roach, 1994); o los que tienen como objetivo determinar en qué medida los textos son una fuente de ideas erróneas para los alumnos (Cho, Kanle y Nordland, 1985).

En lo que respecta a las concepciones sobre causalidad en los textos, Schwab (1970), señala expresamente "... hay que concentrarse en la formulación de hipótesis y en la interpretación de datos. Nuestra primera preocupación es la cuestión molesta de la teleología. Una forma de interpretación inaceptable..." Otros autores, (Bartov, 1978; Bartov, 1981; Hughes, 1973; Weisz, 1971), señalan el riesgo de que las formulaciones teleológicas conduzcan a una interpretación antropomórfica de los fenómenos biológicos. En este sentido, investigadores de la Universidad Hebrea de Jerusalén (Bartov, 1978; Bartov, 1981; Tamir, 1985; Tamir y Zohar, 1991), concluyen que los estudiantes de escuelas secundarias optan por las explicaciones teleológicas cada vez que deben dar cuenta de un fenómeno biológico. Richardson (1990) arriba a las mismas conclusiones, pero ampliándola también a los estudiantes universitarios. Cabe precisar que para Nagel (1961), cuando los biólogos emplean lenguaje teleológico, no están usando necesariamente explicaciones antropomórficas, pues la mayoría de ellos negaría las relaciones medio-fin como producto de un plan deliberado.

En la bibliografía para el nivel medio, la explicación científica está mediada, en mayor medida que en los universitarios, por componentes de tipo pedagógico o didáctico que conllevan a transmitir modelos de ciencia escolarizada, modelos donde se amalgaman conceptos y leyes con elementos ajenos al quehacer estrictamente científico. Dado que en los trabajos citados precedentemente sólo se intenta discriminar entre tipo de causa (eficiente o final) sin describir específicamente las características del modelo utilizado por los autores de los textos, se podría preguntar, *de qué manera las explicaciones científicas se reproducen en los libros de texto del nivel medio, cuáles son los modelos predominantes y cuáles son las imágenes que del mundo biológico se transmiten.*

Es propósito de este trabajo contribuir al esclarecimiento de los interrogantes antes expuestos a partir de la explicación concebida por el autor del texto, y desde allí al modelo que se intenta transmitir; a la vez que discutir sus implicancias epistemológicas y metodológicas.

## Materiales y Métodos

Los conceptos seleccionados a fin de caracterizar las explicaciones son, tropismos, absorción, transporte y transpiración, y fotosíntesis. Dichos conceptos fueron elegidos por que aluden a funciones de la planta estrechamente relacionadas entre sí, si bien es habitual que sean tratadas de manera independiente. La posibilidad de analizar dichos conceptos contribuirá sobre todo a evaluar cómo se ponen en relación las variables en juego y en qué nivel opera el fenómeno.

La selección de textos, a fin de describir los rasgos más salientes de las explicaciones, se realizó de manera intencional, intentando integrar la muestra con bibliografía editada en diferentes períodos a partir de 1980 y que, en lo posible, tuvieran una mínima difusión.

Una vez identificadas las mismas se procedió a copiarlas literalmente, citando el curso al cual van dirigidas y discriminando párrafos en los que se alude a mecanismos causales, de aquellos de naturaleza funcional o teleológica.

Se identificaron las variables del fenómeno para cada clase de explicación, diferenciando las de vínculo necesario y/o suficiente de las de naturaleza contribuyente (no necesarias ni suficientes). En ambos casos se analizaron las menciones explícitas o implícitas a covariaciones entre variables.

Identificadas las variables en juego, se establecieron tres categorías de explicación, causal, funcional, y causal-funcional o funcional-causal (cuando incluía ambas). Para dicha operación se procedió al análisis del lenguaje empleado y la clase de vínculos entre variables (relación de necesidad y/o suficiencia en el caso de las causales y de función, objetivo o beneficio en el de las funcionales).

Además de los procedimientos descriptos anteriormente, se tomó nota de aquellas particulari-

dades que parecieran oportunas de ser tomadas en consideración.

Se analizaron en total 11 textos para el concepto de tropismo, 9 para absorción, transporte y transpiración, y 8 para fotosíntesis.

Cabe hacer notar que dos de los textos analizados han constituido parte la bibliografía de mayor consulta a partir de la reforma curricular de la asignatura Biología a fines de los '70 y hasta, al menos, el advenimiento de la Ley Federal de Educación a mediados de los años 90. En dicho período se produjeron importantes ventas de ambas obras, a la vez que ellas conformaron, en mayor o menor medida, la bibliografía disponible en las bibliotecas escolares.

## Resultados

Los resultados obtenidos para cada concepto y clase de explicación, fueron:

### 1. Concepto de Tropismo

- *El lenguaje teleológico se presenta asociado a las explicaciones funcionales.*

Lo afirmado puede evidenciarse en la siguiente cita, "La mayoría de los tallos tienen fototropismo positivo y los cumplen con el fin de exponer las hojas hacia la mayor cantidad de luz para que se cumpla la elaboración de la savia (fotosíntesis)"; o bien, "Los tallos y pecíolos son particularmente sensibles a la luz y sus movimientos, hacen que las hojas cambien su posición para poder recibir toda la luz que necesitan".

- *Las explicaciones de tipo funcional son más frecuentes en textos de primer año.*

De las cinco explicaciones con estas características, cuatro de ellas corresponden a primer año y sólo una, a cuarto.

- *Las explicaciones causales, solas o combinadas, se dan mayoritariamente en la bibliografía de tercero y cuarto año.*

Sólo dos textos, de seis, desarrollan explicaciones netamente causales, ambos de tercer año; los cuatro restantes aluden a ambas clases de explicación y son en su mayoría (3) de tercero o cuarto.

- *Tanto las variables causales como funcionales aparecen explícitamente relacionadas entre sí, en más de los casos.*

Para el caso de las variables causales, como ejemplo puede citarse, “La principal hormona de crecimiento en los vegetales son las auxinas, responsables de las respuestas de fototropismo y geotropismo.

Por ejemplo cuando un tallo está sometido a una iluminación unilateral, las auxinas migran hacia el lado del tallo que está en sombra, estimulando el crecimiento de esas células, por lo cual el tallo se dobla hacia el lado iluminado; esto se denomina fototropismo positivo.

El geotropismo positivo de la raíz se ha explicado, hasta el momento, como un fenómeno inverso al anterior, es decir que la concentración de auxinas en el borde inferior de la raíz provocaría retardo en el crecimiento, y por lo tanto la curvatura de la raíz se realizará hacia abajo”.

Como caso de explicaciones funcionales, se puede citar, “Cuando un movimiento se hace en dirección a un estímulo o contrariamente a él, se denomina tropismo.

Los tallos crecen realizando un movimiento en dirección a la luz: es un fototropismo. La raíz crece siguiendo la dirección del centro de la tierra: es un geotropismo. La raíz crece también realizando un movimiento hacia los lugares de mayor humedad: es un hidrotropismo”; o bien cuando dicen, “Los tallos crecen en posición vertical en sentido opuesto al de la fuerza de gravedad. No ocurre lo mismo con la raíz, que crece en sentido opuesto al tallo, siguiendo las fuerzas de atracción de la gravedad”.

- *No es frecuente la mención o descripción de experimentos por referencia al fenómeno.*

De los once textos analizados, tres de ellos refieren a situaciones experimentales. En un caso se relata detalladamente la experiencia de Went con coleóptilos de avena, y citan estudios de Boysen-Yensen en 1913. En otro caso, aunque no se describe, se cita experiencias realizadas, “Se comprobó, por ejemplo, que el ombú puede desarrollarse verticalmente, alto y delgado. Esto ocurre por que ante la falta de luz la planta

desarrolla sus tallos más de lo normal, ‘intentando’ encontrar más luz. Este crecimiento estimulado por la luz recibe el nombre de fototropismo (foto: luz, tropismo: movimiento hacia)”. En el tercer texto, dicen los autores, “El programa espacial en los Estados Unidos de América ha permitido investigar la influencia de la gravedad en las plantas. Los satélites artificiales son lugares excelentes para estudiar los efectos de la ausencia de gravedad. Allí, el tallo y la raíz de una planta crecen en línea recta. No hay arriba y abajo”.

- *En el caso de las explicaciones causales, no se menciona ni describe la acción de variables contribuyentes.*

En ninguno de los casos analizados se alude a la participación de factores que, sin ser necesarios ni suficientes, contribuyan a la producción del fenómeno, no obstante la existencia de los mismos (intensidad de luz, tiempo de exposición, naturaleza química de los mediadores)

- *En las explicaciones funcionales no se da con frecuencia la mención explícita a beneficios obtenidos; cuando se hace referencia a ellos, se recurre al lenguaje teleológico.*

Ejemplo de lo señalado en segundo lugar es, “El geotropismo tiene una significación biológica muy clara, ya que permite llevar a la futura planta a su posición correcta en el suelo. El higrotropismo positivo de la raíz permite a la planta utilizar la porción de terreno más rica en agua”.

- *La intensidad de luz y el crecimiento son las variables constituyentes tanto de las explicaciones causales como funcionales en lo que al concepto de tropismo respecta. En las primeras, las hormonas auxinas actúan como nexo causal entre los dos factores citados; en tanto que las segundas, se vinculan mediante una relación de tipo estímulo-respuesta conducente a la obtención de beneficios o como mecanismos autoregulatorios. En este último caso, además de la intensidad de luz participan la gravedad, el agua o las sustancias químicas.*

## 2. Conceptos de Absorción, Transporte y Transpiración

- *Las explicaciones más frecuentes tienden a combinar elementos causales con funcionales independientemente de la población escolar a la cual van dirigidas.*

Los dos textos en que se explica causalmente corresponden a primero y segundo año. En cinco se combinan ambas explicaciones, de los cuales tres son de tercer año y los restantes de primero. En dos textos de primer año, las explicaciones son de índole netamente funcional.

- No es usual el lenguaje teleológico.

Sólo en dos casos se advierte la utilización de dicho lenguaje. En un texto de tercer año se lee, "los vegetales evitan la transpiración directa de las células epidérmicas gracias al desarrollo de la capa de cutina en las hojas y de súber en los tallos". En otro libro de primer año, dicen los autores, "Las hojas experimentan profundas transformaciones para que las plantas puedan vivir en sitios secos. Disminuyen de tamaño, se endurecen y recubren de cutícula, con lo que se evita la transpiración. Ej. el olivo. En ocasiones reducen su tamaño hasta convertirse en aciculares (forma de aguja). Ej. pino, ciprés, romero".

- *Las covariaciones entre variables aparecen, en la mayoría de los casos, de manera explícita.*

Como ejemplo puede citarse, "La mayoría de las plantas adaptadas a la sequedad tienen hojas reducidas. De este modo se disminuye la pérdida de agua por transpiración. Además, tanto el tallo como las hojas, están recubiertos de una cutícula muy desarrollada y tienen estomas pequeños".

Otras adaptaciones de plantas de las zonas desérticas que evitan la transpiración de las hojas y los tallos, son los pelos y las cubiertas de cera".

- *En las explicaciones causales, a menudo, no se explicitan las covariaciones entre las variables necesarias y/o suficientes, sólo entre las contribuyentes de naturaleza física (temperatura, velocidad del viento, radiación, humedad atmosférica, hora del día) o biológica (presencia de estructuras especializadas, número de estomas, densidad del follaje, extensión de la raíz, nivel*

*de eficiencia del sistema de transporte, tamaño de la planta), y el factor resultante (cantidad de agua evaporada).*

Un caso que da cuenta de la afirmación precedente es, "La intensidad de la transpiración está regulada en parte por la mayor o menor abertura de los estomas. Al mismo tiempo la salida del vapor por los estomas depende también de la humedad de la atmósfera y de la velocidad del viento", o bien, "Si el día es seco o hay mucho viento, la concentración de agua en el aire dentro de la planta es mayor que la concentración de agua en el aire exterior. En este caso, el vapor de agua de la planta sale también por difusión".

- *Las variables contribuyentes de naturaleza biológica, componentes de las explicaciones causales, aparecen también en las explicaciones funcionales como concurrentes al beneficio o ganancia del vegetal.*

Lo señalado puede advertirse en la explicación funcional que se transcribe, "Su ubicación en la parte inferior de la hoja deja los estomas menos expuestos al sol, y reduce así la evaporación del agua de la planta. Para disminuir aún más la pérdida de agua por la cara superior, las células están cubiertas por una cutícula protectora, transparentes a la luz". Como ejemplo de explicación causal donde se mencionan variables contribuyentes de índole biológica, puede citarse, "En las hojas, principalmente a través de los estomas, se evapora agua por efecto del calor del sol y la acción del viento. Esto crea una tensión sobre la columna de agua ascendente, que es la que provee el agua que se evapora; la acción combinada de la presión radicular, la presión atmosférica, la tensión provocada por la evaporación foliar y la cohesión del agua, hace que el agua se mueva como una columna única desde las raíces hasta las hojas, sin importar la altura que las separe".

- *No es usual la referencia a experimentos relacionados con el fenómeno.*

En un solo caso se hace referencia a situaciones experimentales. En dicha oportunidad se análoga la raíz al funcionamiento del osmómetro, "En la planta el pelo absorbente equivale al tubo y el suelo al recipiente exterior, por que en el primero las sustancias minerales solubles se

encuentran más concentradas que en el segundo.

Ocurrirá pues que, como en el dispositivo, por ósmosis penetra agua en el pelo absorbente. Cuando esto ocurre, las soluciones minerales se diluyen en él en relación con las células del parénquima cortical de la raíz y se produce idéntico proceso osmótico desde la capa celular exterior hacia las capas más profundas. El fenómeno sigue hasta que el agua alcanza los tubos leñosos del xilema y asciende con el nombre de savia bruta”.

- *Las variables dadas como necesarias aparecen citadas con diversos nombres, pero en todos los casos se alude a mecanismos de diferencia de presión o concentración como causantes de la absorción, transporte y transpiración. Otras variables necesarias, aunque no suficientes ni siempre citadas, son cohesión del agua y capilaridad.*
- *Las variables funcionales citadas más frecuentemente son aquellas que reportan como beneficio el equilibrio hídrico.*

### 3. Concepto de Fotosíntesis

- *Las explicaciones presentes en los libros de texto de primer año combinan componentes causales con funcionales.*

En los cinco textos de primer año analizados se observó la concurrencia de ambas clases de explicación.

- *Las explicaciones de tipo estrictamente causal son frecuentes en textos de tercer año.*

En dos de los tres textos analizados, se observan explicaciones netamente causales; en tanto que en el restante, se advierte la concurrencia de ambas.

- *No es usual la referencia a experimentos en relación con el fenómeno en estudio.*

En los tres casos en que aparecen citados estudios experimentales, refieren a investigaciones de valor histórico. Uno de ellos menciona además la experiencia del lugol para demostrar la presencia de almidón durante la fotosíntesis.

- *El lenguaje teleológico se halla asociado frecuentemente a las explicaciones funcionales.*

De los seis textos en que se recurre a la explicación por función, cuatro de ellos utilizan vocabulario teleológico.

- *En la mitad de los textos consultados se alude a vocabulario de índole teleológico.*

En uno de los casos analizados se da una situación curiosa cuando se refiere al dióxido de carbono como condición antecedente para la fotosíntesis, pues lo hace de dos maneras diversas, “A la planta penetra dióxido de carbono del aire atmosférico a través de los estomas” o bien “Este proceso se manifiesta por que las plantas verdes toman del aire anhídrido carbónico...”

En la primera cita puede advertirse alusión a mecanismos causales, ya que el dióxido de carbono penetra por ósmosis o diferencia de presión; en tanto que en la segunda, teleológicos, debido a que la planta adopta una posición activa en la incorporación del gas.

- *Las variables antecedentes, necesarias y suficientes para la producción del fenómeno, citadas por los autores son, ocurrencia de dióxido de carbono atmosférico, aporte de agua, incidencia de energía luminosa y presencia de clorofila. Las variables consecuentes citadas son, sustancias orgánicas elaboradas, incorporación de oxígeno atmosférico y la producción de ATP, esta última también nominada como energía química.*
- *Es poco usual la mención de variables contribuyentes.*

Excepto la temperatura, no es frecuente la cita de variables que no sean necesarias ni suficientes.

- *Es poco recurrente la mención de covariaciones.*

En sólo dos de los ocho textos analizados se mencionan explícitamente correlaciones entre variables

- *Cuando se alude a covariaciones, éstas aparecen en el marco de las explicaciones causales.*

- *En las explicaciones causales, las covariaciones se explicitan entre incidencia de energía luminosa e intensidad de fotosíntesis. La primera de ellas, en ambas o alguna de sus dos dimensiones, longitud de onda e intensidad de luz. También se mencionan covariaciones entre la temperatura y la intensidad de fotosíntesis.*
- *Las variables funcionales citadas son muy diversas. Sin indicar explícitamente covariaciones; se establecen relaciones entre, azúcar como material oxidable y producción de energía química; energía solar y posibilidad de vida en el planeta; producción de oxígeno y la función respiratoria; glucosa y elaboración de otros compuestos orgánicos; presencia de materia inorgánica y síntesis de la materia orgánica.*

### **Síntesis general de los resultados**

Si bien los tipos de explicación son independientes de la población escolar a la cual van dirigidas, se observa una tendencia a hallar explicaciones funcionales, solas o combinadas, en primer año y explicaciones causales, solas o combinadas, en tercero y cuarto año.

La utilización de lenguaje teleológico parece relacionarse con la clase de concepto que se pretende explicar.

En el caso de los tropismos, dicho lenguaje se halla asociado a las explicaciones funcionales; lo que debe ser explicado es el movimiento o crecimiento de la planta hacia un lugar determinado, fenómeno fácilmente perceptible en la vida cotidiana, donde parecen advertirse objetivos o intenciones por parte del vegetal, esto es la "atracción hacia el estímulo".

Los términos teleológicos aparecen también en las explicaciones funcionales de la fotosíntesis de manera similar a lo ya señalado para el concepto de tropismo.

En las explicaciones causales acerca de los fenómenos de absorción, transporte y transpiración, los términos teleológicos están ausentes. Por algún motivo que escapa a este análisis, tampoco se recurre a vocabulario teleológico, salvo un caso, en las explicaciones de tipo funcional.

En pocas ocasiones se describen o explican experimentos en relación con los fenómenos en estudio. En los casos en que así sucede, se los halla asociados a las explicaciones causales. Tanto para los conceptos de tropismo como de fotosíntesis, la mención de experimentos intenta recrear el concepto acudiendo a estudios de valor histórico, aunque sin lograr un enfoque constructivo. En las investigaciones citadas, se advierte manipulación de variables independientes y medición de variables dependientes en el contexto de estudios de naturaleza inductiva.

En el único caso en que se hace mención a situaciones experimentales relacionadas con los conceptos de absorción, transporte y transpiración, se acude a la comparación de un instrumento físico, el osmómetro, con el funcionamiento de la raíz. Los órganos vegetales, en este caso, se describen como si operasen como sistemas regulados por leyes de índole física, por lo que su comportamiento puede ser explicado en estos términos.

Salvo excepciones, son nombradas todas las variables necesarias y suficientes para la generación de los fenómenos en estudio, no ocurriendo lo mismo con las variables contribuyentes.

En los tropismos, la contribución de variables no necesarias ni suficientes está limitado sólo a algunas plantas o determinados órganos.

Situación opuesta es la que se presenta al explicar absorción, transporte y transpiración, donde intervienen un gran número de variables, tanto físicas como biológicas, no necesarias ni suficientes.

En cuanto al proceso fotosintético, la temperatura es el único factor físico de relevancia que se cita, de allí que pocas veces se haga mención a variables contribuyentes.

Las explicaciones sobre las conductas trópicas, de manera casi siempre explícita, aluden a covariaciones. Si la explicación es causal debe acudirse necesariamente a la covariación entre intensidad de luz, niveles de hormonas en los tejidos vegetales y crecimiento o movimiento. De no ser así, no podría comprenderse porqué la planta se orienta en el sentido que lo hace.

Cuando ésta es funcional, las covariaciones directas e inversas entre estímulo y respuesta, constituyen la cuestión central. El fenómeno trópico sólo puede ser entendido desde una óptica funcional cuando se explicita la respuesta positiva o negativa, a favor o en contra del estímulo.

Al explicar cualquiera de los conceptos implicados, no se alude a covariaciones entre las variables necesarias y/o suficientes, sólo entre las contribuyentes y las variables consecuentes del proceso. Aunque no aparece explícito en ningún texto, parece percibirse la covariación directa de forma tácita entre los factores necesarios y suficientes.

Tal parece que las covariaciones directas, sobre todo entre variables necesarias y/o suficientes, están implícitas al mencionar la relación entre ellas, en tanto que las covariaciones inversas deben explicitarse para poder comprender la dinámica del proceso.

En cuanto a los conceptos analizados, las variables que describen las explicaciones de los fenómenos de absorción, transporte y transpiración presentan características propias, no coincidentes con las categorías obtenidas para las explicaciones de los demás procesos biológicos en estudio.

En este caso se advierte que tanto las explicaciones causales como funcionales se presentan en las mismas frecuencias, cualquiera sea la población escolar a la cual van dirigidas; posiblemente por que no puede prescindirse de los componentes causales sin riesgo de reducir su comprensión.

De la misma manera, el lenguaje teleológico está prácticamente ausente a pesar de la presencia de elementos funcionales con los cuales generalmente se los asocia.

Asimismo, las variables contribuyentes no sólo aparecen mencionadas sino, también, explicitadas sus covariaciones.

## Discusión

Los objetivos o intenciones en relación con los seres vivos que parecen advertirse en algunos textos, no implica necesariamente que ésta sea la concepción causal del autor de la bibliografía

con destino a estudiantes secundarios. En este sentido, se coincide con lo que afirma Nagel (1961), cuando dice que los biólogos que hacen uso de lenguaje teleológico no aceptan las relaciones medio-fin como producto de un plan deliberado. El lenguaje empleado y la organización discursiva tienen que ver con estrategias de abordaje de la información y el tratamiento temático, más que con modelos causales. No obstante ello, tal manera de dar cuenta de la realidad puede dar lugar a confusiones acerca del fenómeno biológico y sus determinaciones, sobre todo si se tiene en cuenta el papel modelizador de la bibliografía. Esto es lo que parece ocurrir en las investigaciones que dan cuenta sobre los textos como fuente de ideas erróneas (Cho, Kanle y Nordland, 1985), o en los casos estudiados por diversos autores (Bartov, 1978; Bartov, 1981; Tamir, 1985; Richardson, 1990; Tamir y Zohar, 1991), donde se observa una clara preferencia de los estudiantes por explicaciones de tipo antropomórfica.

Cabe mencionar que, más allá de la atribución de causa o del modo en que esta pueda explicarse, lo que se discute es su significado, no ya desde el papel que juega en alguna perspectiva teórica, sino en un sentido ontológico. Para Gould (1985), no son necesarias las cadenas causales de la teoría de la evolución, como tampoco son reversibles, de tal manera que las explicaciones en este sentido son nada más que relatos o descripciones. En la vereda opuesta se posiciona Mainzer (1994), quien adopta el paradigma de la complejidad, asumiendo que "la emergencia de la vida y la evolución orgánica como un todo no es contingente sino necesaria y está regida por leyes en el sentido de autoorganización". Lewontin (1992) afirma que no tiene porqué verse como un factor explicativo puramente interno o externo y, por lo tanto, las explicaciones causales no tienen porqué ser inmunes a la perspectiva epistémica a partir de la cual se las formula.

Así, el mundo biológico como entidad resulta complejo de explicar, es material pero sensible, es sensible al mundo exterior pero a la vez autodeterminado, es dinámico pero estable, es contingente no obstante estar gobernado por leyes. La explicación de lo biológico conlleva formas de concebir ese mundo, concepciones



que históricamente han transitado por diferentes modelos.

Cuando se analiza el fenómeno biológico, parece tan lícito preguntarse para qué opera así (perspectiva funcional o de la causa final) como, porqué opera así (perspectiva de la causa eficiente). Según la naturaleza del fenómeno predominará una clase de explicación sobre otra. Así, en el análisis del fenómeno trópico importa tanto, porqué crece la planta, como para qué lo hace, o dicho de otra manera, es válido interrogarse ¿por qué crece? (explicación causal) como también ¿por qué se mueve? (explicación funcional). Si bien ambas preguntas parecen estar orientadas en la misma dirección, la primera alude a atributos propios de los seres vivos, y de las plantas como representantes de la clase; en tanto que la segunda, implica algún tipo de intencionalidad u objetivo por parte del vegetal.

No sólo es necesario conocer cuáles son los agentes que determinan el movimiento, sino qué función cumple él en el marco de las interacciones de la planta con su medio. Parece ser que la idea de función es más intuitiva y, por lo tanto, más asequible para los alumnos de los primeros años, en tanto que la causa eficiente, centrada en mecanismos físico-químicos, es de más difícil comprensión, y por lo tanto destinado a estudiantes más avanzados.

Si bien los mecanismos de absorción, transporte y transpiración son explicados fundamentalmente por leyes de la física, y por ende por leyes causales, no parecen suficientes tales argumentaciones. La explicación funcional le agrega a dichos conceptos la idea de adaptación o estrategias de supervivencia de la planta en su ambiente.

Solamente para la fotosíntesis se prescinde de la explicación funcional como única forma de dar cuenta del fenómeno. Sin explicación causal no podrá entenderse el papel que juegan los gases intervinientes, el agua, la clorofila, la radiación luminosa y los azúcares.

Qué es causa no tiene una única significación. Dice Pozo (1987) que en la tradición filosófica se han sostenido básicamente dos posturas, una que enuncia que todos los hechos son causados, y otra que afirma que cualquier ocurrencia

puede ser explicada por leyes, aunque no todas ellas son causales.

En la segunda línea, se inscribe Bunge (1997). Así, para este autor los tropismos no obedecen a leyes causales ya que las auxinas no son necesarias sino contingentes, pues actúan a veces estimulando (en el tallo) y a veces inhibiendo (en la raíz), a la vez que ellas no provienen del exterior, lo cual encuadra al fenómeno en la categoría de autodeterminación.

Respecto de los mecanismos de absorción transporte y transpiración, desde la perspectiva de Bunge, se clasifican como casos de autodeterminación cuantitativa, pues la ocurrencia del fenómeno depende de las relaciones entre magnitudes a lo largo del proceso, y no de la presencia de un factor externo (causa eficiente).

La fotosíntesis es el único de los conceptos que desde el punto de vista bungeano constituye un mecanismo causal, ya que todos los antecedentes (energía luminosa, presencia de agua y dióxido de carbono), excepto la clorofila, son de origen externo. Si bien esta última participa del proceso, y es condición necesaria, no es factor suficiente.

Otros autores, (Monod, 1971; Piaget, 1990; Bateson, 1997), conciben otro concepto de causa, asimilando a ésta los procesos de autodeterminación, probabilidad, interacciones mutuas y otros, con lo cual todo hecho está determinado por leyes causales. En este caso la causalidad adopta un modo diferente al perderse la linealidad de las relaciones y adoptar una configuración circular.

Para los autores antes citados, la autodeterminación constituye un elemento esencial de la vida y sus manifestaciones, toda vez que las respuestas a los estímulos no guardan relación directa con su intensidad. El ser vivo incorpora algo de sí mismo que hace que el nivel de respuesta exceda los valores de energía presentes en el estímulo. Esta propiedad de la vida puso en aprietos a los modelos de la causa eficiente y el retorno al vitalismo o finalismo. Una de las razones del éxito de los modelos de autorregulación fue la de proporcionar una respuesta al problema de la finalidad. Conservando lo que tenía de válida la descripción finalista, la cibernética proporcionó con el nombre de teleonomía, una explicación causal de los procesos,

tanto orientados como autocorrectores y, a veces, anticipadores. Puede conservarse lo positivo de la idea de finalidad sustituyendo el concepto de causa final por causalidad cíclica o en circuitos de retroalimentación inteligible (Piaget, 1990).

Las distintas formas de concebir el fenómeno se trasladan también al terreno de sus explicaciones. En las de naturaleza netamente causal, el proceso queda reducido a unos pocos factores que no logran insertarse en esquemas de análisis más generales. En las explicaciones funcionales, desaparecen los nexos que conectan las variables dadas como antecedentes y consecuentes, transformándose así en explicaciones teleológicas o animistas.

Bateson (1998) dice, refiriéndose a la teoría de la selección natural de Darwin, que es una explicación cibernética, por cuanto analiza todas las posibilidades alternativas que podrían haberse dado y se pregunta luego porqué muchas de ellas no se siguieron. El autor diferencia esta clase de explicación de las causales, argumentando que las primeras son negativas, preguntan porqué no ocurrió, y las segundas, positivas, preguntan porqué sucedió.

Afirma Bateson que es objeto de la cibernética, el aspecto proposicional o informacional de los sucesos y objetos del mundo natural, advirtiendo que no sólo importa el contenido de la comunicación, sino además el contexto en el cual ésta se produce. La jerarquía de contextos es universal en la comunicación de los fenómenos y lleva siempre al hombre de ciencias a buscar la explicación en unidades cada vez más amplias. En la cibernética, sin contexto no hay explicación.

Además de las restricciones que limitan las alternativas que puede seguir el fenómeno, el autor alude a dos categorías más de restricciones, la retroalimentación y la redundancia. Cuando los fenómenos del universo se conciben vinculados a través de causa y efecto, la resultante es una cadena de causación que, especialmente en caso de los organismos con su medio, adoptan cadenas en forma de circuito cerrado desde y hasta cualquier posición que haya sido elegida arbitrariamente como punto de partida de la descripción. En dicho circuito cabe esperarse que los sucesos que se produz-

can en cualquier posición, tengan efecto en todas las posiciones del circuito en momentos posteriores. La redundancia es la estructuración mediante patrones o predictibilidad de algunos sucesos en particular dentro de un agregado mayor de sucesos.

Para Bateson, un mensaje sólo tiene significado en tanto refiera a algún elemento de un universo mayor de pertinencia, consistente en mensaje más referente, y que la redundancia o patrón de predictibilidad es introducida en ese universo por el mensaje.

Una explicación que logre rescatar estrategias de retroalimentación, restricciones, redundancia y códigos de comunicación al interior del sistema, será, sin duda, una explicación que dará cabal cuenta de la dinámica de los procesos propios del fenómeno biológico.

Con respecto a los modos que la explicación adopta en los textos, pueden citarse estudios de Liendro (1992), quien efectúa un análisis exhaustivo de once libros de biología utilizados en la escuela media y concluye que la mayoría de los conceptos que se vierten en ellos, lejos de definirse o explicarse, sólo se mencionan imposibilitando así la comprensión de éstos por parte del alumno. También resalta que la información nunca es presentada como resultado de un proceso histórico sino como saber producido.

## Conclusiones

En los textos de biología destinados a estudiantes de enseñanza media el fenómeno queda restringido a unas pocas variables, sin poder advertirse el papel que éstas juegan en el marco de procesos más amplios, procesos que integren fenómenos de diferentes niveles y los inserten en el contexto de un sistema.

Sólo tangencialmente se alude a la concepción sistémica, cuando por ejemplo se hace referencia a la importancia que la producción de materia orgánica tiene en los procesos tróficos, o cuando se vincula a la planta con las fases del ciclo del carbono.

Las explicaciones dadas por los autores de la bibliografía inscriben al fenómeno, bien como mecanismo físico o bien como proceso, lo que

equivale a decir que recurren a modelos mecánicos o modelos procesuales.

Ambos modelos no logran rescatar las cualidades propias de la vida y sus fenómenos. El modelo mecánico, más limitado, sólo aporta elementos mínimos para su comprensión. El modelo procesual rescata los procesos biológicos pero no logra avanzar mucho más. No logra desarrollar todos los vínculos existentes e insertarlos en una perspectiva sistémica.

El modelo teleonómico o cibernético está ausente de los libros de texto. Dicha ausencia se explica en parte por la organización del texto mismo, y esto se liga directamente con los programas de estudio. Los conceptos que integran el currículo muestran pocas veces conexiones entre sí, lo que opera como una dificultad para el autor que intenta la elaboración de un manual que refleje la naturaleza del fenómeno en todas sus dimensiones.

Otro problema reside en la formación profesional del autor del texto, instruido en esquemas excesivamente analíticos que no propician la aprehensión de totalidades. Esto opera como verdadero obstáculo epistemológico en la transmisión de modelos estructurados mediante otras pautas.

Puede pensarse también que la simplificación de la explicación obedece a razones de índole

didáctica; al respecto dice Piaget (1990) en *Biología y Conocimiento*, "*La naturaleza organizadora del conocimiento es del carácter circular y no lineal o aditivo como le atribuye un sentido común falsamente pedagógico*".

Independientemente del tipo de modelo elegido por el autor para desarrollar la explicación, se muestra por lo general de manera explícita los modos en que las variables se relacionan. La covariación opera en este marco como un elemento central del que se vale el autor del texto para "probar" la causación, y así transmitir, tal vez inadvertidamente, un modelo de ciencia.

En los pocos casos en que se recurre a la cita de estudios experimentales, aparecen más como ilustraciones que aportando al descubrimiento o la validación de conocimientos.

Puede decirse, en términos generales, que las explicaciones propias del texto secundario contribuyen directa o indirectamente a fragmentar el fenómeno biológico sin referirlo a leyes más generales que conecten las particularidades entre sí. La atomización de los procesos, consecuencias de los modelos mecánicos de la física, traen aparejadas dificultades en la comprensión, no tan sólo del texto, sino del fenómeno mismo.

## Bibliografía

- Bartov H. 1978. Can students be taught to distinguish between teleological and causal explanations. *Journal of Research in Science Teaching*. 15 (6), 567-572.
- Bartov H. 1981. Teaching students to understand the advantages and disadvantages of teleological and anthropomorphic statements in biology. *Journal of Research and Science Teaching*. 18 (1), 79-86.
- Bateson G. 1997. *Espíritu y naturaleza*. Amorrortu editores. Bs. As.
- Bateson G. 1998. *Pasos hacia una ecología de la mente. Una aproximación revolucionaria a la autocomprensión del hombre*. Ediciones Lohlé-Lumen. Bs. As.
- Buckley W. 1982. *La sociología y la teoría moderna*. Amorrortu editores. Bs. As.
- Bunge M. 1997. *La causalidad. El principio de causalidad en la ciencia moderna*. Editorial Sudamericana. Bs. As.
- Cho H., Kanle J. y Nordland F. 1985. An investigation of High School Biology Textbook as source of Misconceptions and Difficulties in Genetics. *Science Education*, 69 (5), 707-71
- Gould S. J. 1985. *El pulgar del panda*. Orbis. Barcelona.
- Hughes A. 1973. Anthropomorphism, teleology, animism and personification. Why it should be avoided? *Science and Children*. 10, 10-11.
- Jeffery K. R. y Roach L. E. 1994. A Study of the Presence of Evolutionary Protoconcepts in Pre-High School Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 31 (5). 507-518.
- Jiménez Aleixandre M. P. 1994. Teaching Evolution and Natural Selection: A look at Textbooks and Teachers. *Journal of Research in Science teaching*. 31 (5). 519-536.
- Lewontin R. 1992. *Biology as Ideology, the Doctrine of DNA*. Harper Perennial.

- Liendro E. 1992. Curriculum presente, Ciencia ausente. La enseñanza de la Biología en la Argentina de hoy. Tomo 2. Miño y Dávila. Bs. As.
- Mainzer K. 1994. Thinking about Complexity. Berlín. New York. Springer Verlag.
- Mayr E. 1991. One Long Argument, Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought. Cambridge. Mass. Harvard University Press.
- Mayr R. 1963. Animal Species and Evolution. Cambridge University Press. Cambridge.
- Monod. J. 1971. El azar y la necesidad. Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna. Monte Ávila Editores. Barcelona.
- Nagel E. 1961. The structure of science, problems in the logic of scientific explanation. Londres: Routledge.
- Piaget. J. 1990. Biología y conocimiento. Ensayo sobre las relaciones entre las regulaciones orgánicas y los procesos cognoscitivos. Siglo XXI Editores. Méjico.
- Pozo J. I. 1987. Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal. Visor Libros. Madrid.
- Richardson D. R. 1990. A survey of students' notions of body function as teleologic or mechanistic. Advances in Physiology Education. S 8-10.
- Shwab J. J. 1970. Biology Teachers' handbook. Nueva York. Wiley.
- Swarts F. A., Anderson O. R., y Swetz F. J. 1994. Evolution in Secondary School Biology Textbooks of the PRC, the USA and the Latter Stages of the USSR. Journal of Research en Science Teaching. 31 (5), 475-506.
- Tamir P. 1985. Causality and Teleology in High School Biology. Research and Science and Technological Education. 3 (1), 19-28.
- Tamir P. y Zohar A. 1991. Anthropomorphism and teleology in reasoning about biological phenomena. Science Education. 75 (1), 57-67.
- Weisz P. B. 1971. The science of biology. Nueva York. Mc Graw Hill.