



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

**PERFILES
EDUCATIVOS**

ISSN 0185-2698

Balvanera Levy, Patricia (1995)
“LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS”
en Perfiles Educativos, No. 68 pp. 37-41.

LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS

Patricia BALVANERA LEVY*

El presente trabajo pretende familiarizar a los docentes con la forma en la que los conocimientos son generados en las ciencias biológicas. Del análisis presentando se derivan algunas recomendaciones específicas en torno a la enseñanza de esta disciplina.



THE TEACHING OF BIOLOGICAL SCIENCES. *The present paper tries to familiarize teachers with the way in which knowledge is acquired in the field of biological sciences. The analysis concludes with a few specific recommendations regarding the teaching of this subject.*

La Ciencia: Origen Y Metodología

La ciencia en su conjunto nace a partir de la filosofía; ambas ramas del conocimiento humano son alternativas a la religión, en el sentido de que se proponen brindar explicaciones a los misterios del mundo que rodea al hombre. La ciencia tiene por objetivo proveer de explicaciones para la ocurrencia de eventos observados. La forma en que se genera el conocimiento científico es a través de la observación persistente y organizada de los fenómenos naturales. Su análisis permite descubrir patrones de relaciones entre los fenómenos observados y los posibles procesos causales. Posteriormente a la observación se plantean hipótesis, o posibles explicaciones de los fenómenos observados. Tales hipótesis son entonces sometidas a prueba y aceptadas, o en su defecto, rechazadas.

Todo este proceso de generación de conocimientos, del establecimiento de principios generales y de su posterior comprobación puede ser englobado en dos grandes tipos de métodos científicos: el **método inductivo**, es decir, el conocimiento se genera a partir de la acumulación de observaciones, y el método **hipotético-deductivo**, donde una hipótesis es sometida a prueba a través de la experimentación. Ambos métodos están íntimamente ligados y han sido parte importante de la generación de conocimientos en las ciencias.

El método inductivo

La generación de conocimientos a través de la mera acumulación de observaciones ha sido fundamental en la historia de la ciencia, y se conoce como el método inductivo. El éxito de este método depende de que las observaciones se realicen de forma organizada y encaminada a entender las variables relacionadas con un fenómeno dado.

Un ejemplo clásico de generación de conocimientos a partir del método inductivo es el libro Origen de las especies, de Charles Darwin (1809-1882). Charles Darwin es uno de los naturalistas más famosos de la

* Investigadora del Centro de Ecología-UNAM.

historia. Siendo un joven estudiante de 23 años y apasionado observador de la naturaleza, partió a bordo del barco Beagle en un viaje que duraría cinco años. A lo largo de estos años, Darwin recorrió las costas de Sudamérica, África del Sur, Australia, Nueva Zelanda y las islas del Pacífico. Durante su travesía tomó notas detalladas de las plantas y animales que observaba, y colectó especímenes de muchos de ellos. También a bordo del Beagle llevaba los libros de Lyell acerca de *Principios en geología*, en donde se proponía que la historia de la tierra no podía ser explicada por las inundaciones y extinciones masivas de organismos descritas en la Biblia, sino como una consecuencia del efecto acumulativo y constante de las fuerzas naturales. A lo largo de su recorrido, las Islas Galápagos resultaron ser un sistema particularmente interesante para Darwin. Estas islas, de origen volcánico, son relativamente recientes, en términos de tiempos geológicos. Lo sorprendente para Darwin era que en este conjunto de islas relativamente cercanas, había en cada una un tipo distinto de tortuga gigante, distintas especies de pinzones, los cuales eran a su vez distintos de los que se encontraban en el continente al que estaban próximas las islas. Sus observaciones, junto con el análisis de las propuestas de Lyell, lo llevaron a proponer que una misma especie de pinzones, por ejemplo, había colonizado las islas, y había sido modificada para distintos fines en distintas islas. En su «lucha por la existencia» las aves se habían transformado de tal manera que cada una consumía un tipo particular de fruto, presentando entonces una morfología de pico característica. De este modo se plantearon los antecedentes para la formulación del principio de la selección natural, el cual se plasmaría años más tarde en su libro *Origen de las especies*.

La observación es el punto de partida para el conocimiento de los sistemas biológicos. Como Darwin, numerosos naturalistas de los siglos XVII, XVIII y XIX, minuciosos observadores de la naturaleza, sentaron las bases para el desarrollo de las ciencias biológicas durante el siglo XX.

La observación requiere de teoría para su interpretación

La observación y la acumulación de conocimientos son indispensables para la generación de hipótesis o teorías en las ciencias naturales. Sin embargo, no siempre la acumulación de conocimientos conduce a la generación de hipótesis acerca de fenómenos observados. Si no se tiene clara una pregunta, si la información acumulada no es la adecuada, o si se carece del marco conceptual dentro del cual pueden analizarse los resultados obtenidos, no es posible sacar conclusiones a partir de las observaciones realizadas. Tal fue el caso de Gartner, un agricultor del siglo pasado que se dedicó a hacer cruzas entre individuos de plantas cultivadas con el objeto de obtener variedades más productivas. A pesar de que Gartner acumuló información sobre cientos de miles de cruzas de plantas cultivadas, la información no fue suficiente para la generación de explicaciones acerca de los mecanismos involucrados en la herencia.

Darwin analizó cuidadosamente sus trabajos, pero no pudo encontrar en ellos ninguna regla general. Gartner en realidad no estaba interesado en resolver una pregunta acerca de la herencia, sino sólo en mejorar las variedades de plantas.

En cambio, Gregor Mendel (1822-1884), el padre de la genética, logró plantear hipótesis acerca de los mecanismos involucrados en la herencia y someterlas a prueba, gracias a su formación conceptual. Formado en matemáticas y ciencias en la Universidad de Viena, Mendel dedicó toda su vida a entender estos mecanismos. Analizó cuidadosamente los trabajos de Gartner y los de otros genetistas. Sus observaciones lo llevaron a constatar que, tanto en plantas como en animales, los hijos pueden ser distintos de los padres en color, tamaño o algún otro carácter. Él sabía que las plantas y los animales surgen a partir de un solo esperma y un solo óvulo para formar un huevo. Esto significaba que el individuo resultante debía sus características tanto a la contribución paterna, la del esperma, como a la contribución materna, la del óvulo.

Mendel trabajó con la planta del chícharo, con la cual era fácil controlar la paternidad de las semillas producidas. En esta planta es posible introducir el polen (masculino) y colocarlo sobre el estigma (femenino) para obtener individuos hijos cuya paternidad sea conocida. Además, Mendel reconoció para el chícharo que la herencia de caracteres como son la rugosidad de la semilla, el color de la semilla y el color de la flor, entre otros, tenían una herencia sencilla, fácil de rastrear. En sus experimentos, Mendel observó que la primera generación resultante de la cruce entre líneas puras de individuos con flores rojas y líneas puras de individuos con flores blancas, presentaba en su totalidad flores rojas. El color rojo se debía a la contribución paterna de individuos con flores rojas. Si bien las madres eran blancas, el color rojo es dominante sobre el blanco, y el resultado es que se expresa únicamente el color rojo. A la segunda generación, al cruzarse los individuos de la

primera generación entre ellos, los resultados son los siguientes: 1) el 25 por ciento de los individuos presentan el color rojo tanto por parte de padre como de madre, y son por lo tanto rojos; 2) el 50 por ciento de los individuos son similares a los de la generación anterior, con rojo por parte del padre y blanco por parte de madre, y son entonces rojos debido a la dominancia del rojo sobre el blanco; 3) el 25 por ciento restante de los individuos presentan color blanco tanto por parte de madre como de padre, y son por lo tanto blancos.

La observación prolongada de distintos sistemas y la experimentación con preguntas específicas con el chícharo, permitieron a Mendel desarrollar las Leyes de la herencia que utilizamos hasta hoy en día. La combinación de su formación conceptual en matemáticas y la observación y experimentación juntas fueron indispensables para la generación de tan importante teoría.

El método hipotético-deductivo

La elaboración de hipótesis y el ejercicio de someterlas a prueba en condiciones experimentales es un componente angular del método científico, y conforma el método hipotético-deductivo. En este método, el componente más importante consiste en someter a prueba hipótesis a través de experimentos que permitan aceptar una de dos hipótesis alternativas u opuestas. Las hipótesis se derivan de la observación junto con el análisis del marco conceptual, como en el caso de las Leyes de Mendel.

Un ejemplo clásico de experimentación es el de los trabajos del italiano Lázaro Spallanzani (1729-1799). En el siglo XVIII, los científicos no sabían exactamente cómo el semen del macho causaba la fertilización del huevo u óvulo. Hoy en día, el uso de tecnologías como el microscopio electrónico nos ha permitido describir con gran precisión la forma en que el espermatozoide penetra dentro del óvulo, lo fertiliza, y el huevo se desarrolla en un embrión y posteriormente en un organismo bien formado.

En ese entonces se pensaba que el huevo contenía en su interior un organismo pequeñísimo pero idéntico al que resultara después del contacto entre el semen y los óvulos. Spallanzani realizó numerosos experimentos con semen y huevos de sapos para tratar de entender cómo era que ese «pequeñísimo organismo» supuestamente contenido dentro del huevo era estimulado para desarrollarse en un individuo bien formado. Hasta el momento, dos hipótesis habían sido propuestas en relación con los mecanismos que disparaban el crecimiento del supuesto organismo: 1) el fluido seminal del macho debe entrar en contacto directo con el huevo antes de que empiece el desarrollo, o 2) es únicamente necesario que un gas o vapor que despiende el semen al evaporarse haga contacto con el huevo. La constante observación y experimentación llevaron a Spallanzani a decidirse entre las dos hipótesis alternativas mediante el planteamiento de un famoso experimento. Con dos cristales de reloj diseñó una caja en cuya tapa superior colocaba doce huevos (óvulos), los cuales quedaban adheridos gracias a la pegajosa gelatina que los une de forma natural. El experimento consistió en someter dos cajas con doce huevos en condiciones idénticas a dos «tratamientos» distintos. En un caso colocó poco fluido seminal (espermias) en la parte inferior de la caja, de tal forma que los óvulos estuvieran en contacto con los vapores despedidos por el semen, pero no en contacto directo con el fluido. En el segundo caso puso suficiente fluido seminal, de tal forma que los huevos quedaran bañados por completo del semen. Once de los doce huevos del segundo tratamiento se desarrollaron con éxito en renacuajos. En cambio, los del primer tratamiento no sobrevivieron. Spallanzani repitió sus experimentos con otras especies de sapos terrestres, acuáticos y arbóreos. En todos los casos los resultados fueron los mismos. Los trabajos de Spallanzani permitieron establecer más tarde, en el siglo XIX, el papel del espermatozoide en la fertilización de los óvulos.

El ejemplo de los renacuajos nos permite resaltar algunas características importantes del método hipotético-deductivo: 1) el primer paso es el establecimiento de hipótesis claras, y alternativas entre ellas; 2) el diseño de un experimento que permita desechar alguna de las hipótesis y comprobar la otra; 3) la realización de un experimento sencillo en donde todas las condiciones sean idénticas salvo por un factor, en este caso el contacto directo o indirecto con el semen; 4) el análisis de resultados y la aceptación de la hipótesis adecuada, y 5) la realización de experimentos posteriores para confirmar o afinar los conocimientos producidos.

La generación del conocimiento científico requiere entonces de la interacción entre tres grandes componentes: la observación (el método inductivo), el análisis del marco conceptual teórico, y la experimentación (el método hipotético-deductivo).

Las características de los sistemas biológicos

Las metodologías científicas arriba mencionadas son aplicables a las distintas disciplinas científicas experimentales: las ciencias físicas y las ciencias biológicas. La gran diferencia entre estas dos disciplinas radica en que las ciencias físicas se concentran en el mundo inerte, en cambio, las ciencias biológicas estudian a los seres vivos. La característica más importante de los organismos es que son complejos y variables, y tales complejidad y variabilidad complican la aplicación del método científico.

Un experimento aparentemente tan sencillo como los realizados por Mendel no siempre puede realizarse para obtener resultados tan claros. Por ejemplo, la herencia de caracteres como el tamaño de la semilla del chícharo no está dada por un solo gen, como sucede en el caso del color de la flor o la rugosidad de la semilla. Para ese carácter no es posible aplicar directamente las Leyes de Mendel. Por otro lado, existe variabilidad en las poblaciones biológicas, es decir, no existen dos organismos idénticos. El resultado es que esta variabilidad se expresa, para el caso de las cruces de Mendel, en que los porcentajes observados en la realidad no serán siempre exactamente 75 por ciento de individuos con flores rojas y 25 por ciento de individuos con flores blancas para la segunda generación de cruces. Los resultados obtenidos van a oscilar alrededor de estos valores. Hoy en día se hace uso de la estadística para comprobar que las predicciones hechas con las Leyes de Mendel se cumplen a pesar de las oscilaciones observadas.

El caso del libro *Origen de las especies*, de Darwin, la complejidad de los sistemas biológicos también hubiera podido ser un obstáculo para la generación de la Teoría de la Selección Natural. En su recorrido a bordo del Beagle, Darwin registró cuidadosamente sus observaciones sobre los sistemas que estudió. Las diferencias entre las especies de plantas o animales de uno a otro continente, es decir Sudamérica, África y Australia, son de tal magnitud que los datos son difíciles de interpretar por sí solos. En cambio, Darwin pudo observar un sistema más sencillo y fácil de describir: el de las Islas Galápagos. En estas islas, a partir de un mismo ancestro proveniente del continente, las especies fueron cambiando en cada una de las islas para adecuarse a las condiciones específicas de su isla. Este mismo fenómeno se repite a escalas continentales, sin embargo, no es tan fácilmente observable e interpretable a esa escala.

En el caso de los experimentos de Spallanzani, la misma prueba de hipótesis debió repetirse con numerosos organismos para poder comprobar su generalidad. Siendo cada especie de animales o plantas distintas entre ellas, la única forma de comprobar la existencia de principios biológicos universales, como el de la importancia del semen en la fertilización de los óvulos, requiere de su comprobación con una amplia gama de organismos. Además de la variación que existe entre distintas especies, los organismos de una misma especie también varían. Hoy en día, experimentos como los realizados por Spallanzani deben llevarse a cabo numerosas veces y con gran número de individuos (al menos 30). De esta forma es posible comprobar que los resultados se obtienen siempre y no dependen de las características de los pocos individuos que fueron utilizados en un experimento particular.

La complejidad de los sistemas biológicos puede ser entonces un obstáculo para la realización de observaciones que permitan la generación de hipótesis explicativas de un fenómeno, o para la realización de experimentos para poner a prueba esas hipótesis. Es importante seleccionar sistemas biológicos relativamente sencillos en donde un fenómeno tan universal como las Leyes de Mendel, la Selección Natural o la fertilización pueda ser observado o sometido a prueba de forma sencilla y clara.

La enseñanza de las ciencias biológicas

El panorama arriba expuesto acerca de la forma en que se generan los conocimientos en las ciencias biológicas sirve de marco de referencia para plantear una propuesta con respecto a la enseñanza de las ciencias naturales. La observación y la experimentación son parte inherente de la generación de conocimientos en esta disciplina, y por lo tanto deben ser incorporadas en la enseñanza de las ciencias naturales. La transmisión a los alumnos de los conocimientos ya generados en este campo y de las teorías existentes debe ir acompañada de observación y experimentación. Es necesario presentar al alumno un fenómeno dado, el cual deberá describir cuidadosamente. Los resultados obtenidos de este proceso serán analizados, de tal forma que se encuentren posibles factores causales involucrados en el fenómeno observado y el planteamiento de

hipótesis. Posteriormente puede entonces ser planteado el marco de referencia conceptual. De manera alternativa, es posible introducir previamente a los alumnos a leyes o hipótesis existentes, y tratar de someterlas a prueba. En ambos casos, el tipo de características del fenómeno o de características que serán observadas deberán ser claramente expuestas al alumno con anterioridad, haciendo énfasis en la necesidad de observaciones sistemáticas y precisas. Es fundamental también para el éxito de observaciones o de la experimentación, la selección de un sistema sencillo que haya sido probado anteriormente, en el cual la complejidad no oscurezca la claridad de los resultados obtenidos.

El aprendizaje de los principios que regulan, por ejemplo, las tasas de crecimiento de las poblaciones, puede ser fácilmente planteado usando el esquema propuesto. Las bacterias se reproducen por fisión binaria, es decir que una bacteria se divide en dos, las cuales a su vez se dividen en dos, y así sucesivamente. El resultado es que la población de bacterias crece a una tasa exponencial. A cada generación se duplica el número de individuos, dando como resultado la secuencia siguiente: 2,4,8,16,32,64 etc. En el laboratorio es posible preparar caldo de cultivo e inocularlo con una muestra de bacterias similar en cada uno de los ensayos. El conteo del número de bacterias por unidad de volumen puede realizarse mediante la extracción de una muestra de volumen constante con una pipeta y contarse debajo del microscopio con una cámara de conteo. El alumno puede tomar muestras provenientes del cultivo cada 24 horas y observar a través del tiempo los cambios en números de individuos. Al graficar el número de bacterias contra el tiempo, el alumno podrá verificar la existencia de una tasa de crecimiento exponencial de la población. Dependiendo de la duración del experimento, es posible que la tasa de crecimiento de la población disminuya hasta que el tamaño de la población permanezca constante. En esta fase se ha alcanzado la saturación del caldo de cultivo y la población ha agotado los recursos disponibles para seguir creciendo. Paralelamente, los principios teóricos que regulan el crecimiento de las poblaciones podrán ser expuestos a los alumnos, y de esta forma los conceptos quedarán más claramente fijados en sus mentes. En este caso, tanto la observación previa como la experimentación para someter a prueba los principios teóricos son dos alternativas igualmente viables para la enseñanza del tema de crecimiento poblacional.

Es indudable que la planeación de observaciones o experimentación con sistemas biológicos sencillos paralelos a la exposición de la teoría requiere de mucho trabajo por parte del docente. Numerosas prácticas de campo y de laboratorio existen ya en los libros de texto. Su realización cuidadosa y la creatividad del docente para proponer alternativas o complementos a éstos es fundamental para su éxito.