



Universidad Veracruzana

Universidad Veracruzana
Dirección General de Desarrollo Académico e Innovación Educativa
Dirección de Innovación Educativa
Departamento de Desarrollo Curricular

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE BIOLOGÍA

E.E. EXPERIENCIA RECEPCIONAL

ANTOLOGÍA

ELABORADO POR:

Dra. Celia Cecilia Acosta Hernández
Dra. María de Los Ángeles Chamorro Zárate
Dra. Ana Isabel Suárez Guerrero
Dr. Pascual Linares Márquez
Dra. Albertina Cortés Sol

ACTUALIZADO POR:

Dra. Celia Cecilia Acosta Hernández
Dra. María de Los Ángeles Chamorro Zárate
Dra. Albertina Cortés Sol
Dr. Pascual Linares Márquez
Dra. Ana Isabel Suárez Guerrero
Dra. Ibiza Serrano Martínez
Biol. Laura B. Lendechy Ramo

DIRIGIDO A ESTUDIANTES DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

Fecha de modificación: 24 de enero 2024

Periodo de aplicación: FEBRERO-JULIO 2024

Xalapa, Equez, Veracruz



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE BIOLOGÍA XALAPA
AVAL DE ACADEMIA PARA PRODUCTOS ACADÉMICOS

En la ciudad de Xalapa, Equez. siendo las 11:00 horas del 24 de enero del 2024, reunidos en sesión extraordinaria los miembros de la Academia por Área de conocimiento: Terminal. Carrera de Biología Plan de Estudios 2013: MODELO EDUCATIVO INTEGRAL Y FLEXIBLE.

Para evaluar y avalar el material de apoyo a la docencia mencionado a continuación:

Nombre del producto académico:	ANTOLOGÍA
Autores:	Dra. Celia Cecilia Acosta Hernández Dra. María de Los Ángeles Chamorro Zárate Dra. Albertina Cortés Sol Dr. Pascual Linares Márquez Dra. Ana Isabel Suárez Guerrero Dra. Ibiza Martínez Serrano Biol. Laura B. Lendechy Ramo
Experiencia Educativa:	EXPERIENCIA RECEPCIONAL
Fecha de modificación:	24 de enero de 2024
Periodo para su aplicación:	FEBRERO JULIO 2024
Área de formación:	TERMINAL

Sin otro asunto que tratar, se da por terminada la sesión firmando al calce los que en ella intervinieron avalando los productos académicos.

Atentamente

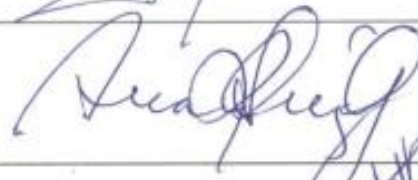
"Lis de Veracruz Arte, Ciencia, Luz."

NOMBRE	FIRMA
Dra. Celia Cecilia Acosta Hernández	
Dra. María de Los Ángeles Chamorro Zárate	
Dra. Albertina Cortés Sol	

Dr. Pascual Linares Márquez



Dra. Ana Isabel Suárez Guerrero



Dra. Ibiza Martínez Serrano



Biol. Laura Beatriz Lendechy Ramo



Diagrama

Descripción generada automáticamente

Vo.bo.
Coordinador de Academia por Área de Conocimiento:



Dra. Celia Cecilia Acosta Hernández

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
NOTAS CRÍTICAS.....	3
¿Qué queda de la distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación? 6	
La utilización del concepto de ADN en nuestra sociedad: tecnociencia, frases hechas y errores científicos.....	11
La antigua tarea de ordenar y clasificar a las ciencias.....	20
La investigación científico-tecnológica debe suponer nuestra fragilidad humana.....	29
Nuevos horizontes de la biología teórica.....	33
Aportes de la epistemología de la biología para la enseñanza de la biología.....	37
¿Tú qué tipo de biólogo quieres ser?.....	42
Lo natural: un concepto enigmático.....	49
BIBLIOGRAFIA UTILIZADA.....	57

JUSTIFICACIÓN

La presente antología tiene como finalidad establecer algunos aspectos complementarios en la investigación que aborda el biólogo en las ciencias biológicas, de la carrera de Licenciado en Biología de la Universidad Veracruzana. Servirá al estudiante para comprender, a través de la lectura y el análisis de algunos textos relacionados con la investigación, y los fenómenos biológicos que esta aborda, desde los aspectos teóricos y críticos de la disciplina. la presente antología comentada se ha generado dentro de la academia de Experiencia Recepcional, la cual es una experiencia educativa que el alumno de la presente licenciatura debe cursar para elaborar su trabajo recepcional en modalidad de tesis, tesina o monografía, el cual será el producto final de la formación del profesional de la biología.

Para iniciarse en la comprensión de la ciencia y en particular de la biología, se presenta la disciplina de la biología como una actividad que se integra de manera importante a los procesos de investigación que se abordan desde los sistemas biológicos para generar conocimiento y su posible aplicación en los contextos actuales que implican diversas problemáticas relacionados con las entidades biológicas, desde aquellas que implican menor complejidad material hasta las que involucran procesos que integran entidades biológicas y aspectos bioculturales.

Es así que, la presente antología se compone de diversos textos que se consideran importantes para la formación de las biólogas y los biólogos, lo cual permitirá al alumno desarrollar puntos de vista críticos en relación a la investigación biológica del siglo XX, desde la generación y aplicación del conocimiento científico y al mismo tiempo se generará en el alumno un interés crítico al interior de la actividad científica, considerando elementos de la ciencia y de otras disciplinas en la aplicación y destino de la ciencia misma.

Se presentan temáticas que establecen criterios de interés alrededor del ámbito de estudio de la biología, como disciplina y opiniones diversas del campo de trabajo, así mismo, de algunas problemáticas que atañen a la biología como; pérdida de biodiversidad, contaminación, cambio climático, entre otras.

La presente antología se ha aplicado en los periodos febrero 2019-julio 2019 y la academia se compromete a llevar a cabo una actualización constante de la misma en cada periodo para establecer un panorama cada vez más completo de las ciencias biológicas.

INTRODUCCIÓN

La presente antología se construye con base en una serie de artículos que dan cuenta de los contenidos básicos del programa de la experiencia educativa EXPERIENCIA RECEPTIONAL. En esta se ubica al estudiante en el contexto de la investigación de las ciencias biológicas en el siglo XX, desde un ámbito disciplinar y crítico, considerando la biología como una actividad encaminada a la generación de conocimiento. Asimismo, se construye, desde la presente experiencia educativa, la reflexión constante en torno a la biología, como una actividad que considera aspectos diversos que se integran de acuerdo con la investigación que se desarrolla actualmente en el mundo.

Se ubican en la presente antología, enfoques necesarios como; la importancia del estudio de la genética, de la evolución, aspectos relacionados con las tendencias del ejercicio del biólogo actual. Así mismo, algunos contenidos en la comprensión histórica de la disciplina en torno a la clasificación de las ciencias y la importancia del contexto situado.

Asimismo, se hace una revisión de artículos que delimitan la construcción desde la investigación biológica en la consideración del devenir disciplinar, político, y económico de nuestro país y el mundo. Es importante considerar las implicaciones de la tecnología en las ciencias de la biología actualmente, la cual ha modificado a los seres vivos de manera radical y ha propuesto nuevas formas de enfocar el estudio de toda la diversidad biológica.

Se analizan otros escritos que sirven de contexto para determinar los elementos fundamentales para elaborar un sentido crítico a la biología del siglo XXI, estos se encuentran relacionados con el papel del ser humano en el manejo de la biodiversidad, los enfoques de la misma biodiversidad desde puntos de vista disciplinares y éticos, así como el abordaje de los problemas actuales de la biología como ciencia.

Algunos aspectos bioéticos también se hacen presentes en la presente antología, para que el alumno de la licenciatura pueda iniciarse en la comprensión de los aspectos axiológicos que fundamentan la toma de decisiones en la consideración del valor de la biodiversidad y la relación del ser humano con los sistemas biológicos no humanos.

NOTAS CRÍTICAS

Se presentan en esta recopilación los siguientes artículos:

Pérez R. A. R. (2007) ¿Qué queda de la distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación? *Revista Theoria* 60: 347-350.

En este artículo se discute la importancia de la propuesta Popperiana en relación a la construcción de la ciencia y como la misma puede responder a preguntas de una manera lineal que no siempre está relacionada a la generación de conocimiento sino más bien a la direccionalidad de actos que se corroboran para darles el estatus de verdad. Se pone de manifiesto que algunos conocimientos se justifican y que el descubrimiento debe ser llevado por un contexto científico o paradigma, no se considera el descubrimiento como la generación fortuita sino dentro de un paradigma determinado.

Mestres F. (2012) “La utilización del concepto de ADN en nuestra sociedad: tecnociencia, frases hechas y errores científicos”, *Sociología y tecnociencia*, nº 2, Vol. 1, pp. 33-43.

Los conocimientos que emanan de la biología no siempre responden a problemas o pretenden dar una explicación factual del mundo, en muchas ocasiones hay un abuso en cuanto al manejo del conocimiento que se genera en la disciplina científica. En este documento se pone de manifiesto la vaguedad con la que en ocasiones se maneja el conocimiento científico o la aplicación irresponsable que se hace del mismo incurriendo con ello en errores que ponen en circunstancias poco claras a la ciencia y a la investigación científica moderna.

Saldivia M. Z. (2009) La antigua tarea de ordenar y clasificar a las ciencias. *Revista UNIVERSUM*. Nº 24. Vol. 1. Universidad de Talca. Chile. Pp. 206-248.

Se hace en este escrito, un recorrido histórico que abarca desde los griegos, hasta el siglo veinte para describir los criterios que se han utilizado en la clasificación de las ciencias. Se pone énfasis en los autores y en los criterios que han emergido de los tiempos que se han vivido para determinar a las ciencias, asimismo también en esta elección participan la integración de la tecnología como un criterio y la fundamentación disciplinaria que con los años ha acopiado un cumulo de conocimiento que ha permitido hacer en la actualidad una clasificación más asertiva.

Gómez S. M. (2010) La investigación científico-tecnológica debe suponer nuestra fragilidad humana. *Revista Ludus Vitalis*, UNAM. vol. XVIII, num. 33, pp. 291-294.

La actividad científica no se genera desde ámbitos neutros, al ser el humano el generador de conocimiento, la ciencia está impregnada por los aconteceres humanos de toda índole y es la fragilidad del hombre la que sirve como contexto de la generación del conocimiento. Así la ciencia no es una actividad fuera del contexto social sino más bien, se plantea en este artículo que corresponde a una actividad muy humana y por ende que está plagada de todas las circunstancias asertivas y erróneas del mismo ser humano.

Rasskin-Gutman D. 2008. Nuevos horizontes de la biología teórica. Revista *Ludus Vitalis*, UNAM. vol. XVI, num. 30, pp. 229-232.

La biología en la modernidad se desarrolla rápidamente, sobre todo en la segunda mitad del siglo XX, y es debido a este desarrollo y las circunstancias que presentan los ecosistemas y la diversidad biológica que se ha integrado a las soluciones la disciplina como una ciencia que provee de soluciones efectivas, sin embargo la biología requiere de todo un bagaje de documentación y de investigación generada desde la investigación y la cual de primera mano no se encuentra en la esfera de lo aplicado sino que se ubica en un plano de conocimiento básico que posteriormente puede o no ser utilizado para integrarse a contextos adecuados para generar soluciones. Este artículo hace énfasis en la importancia de la biología en el plano teórico como disciplina que debe generar conocimiento básico y no solo aplicado.

Rengifo G. L. A. (2009) Aportes de la epistemología de la biología para la enseñanza de la biología. Asociación Colombiana para la investigación en Ciencias Y Tecnología EDUCyT. Memorias, I congreso Nacional de investigación en educación en ciencias y tecnología.

Este trabajo aporta a la formación de maestros en Educación Básica énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad del Valle, en lo relacionado a la enseñanza de la biología, introduciendo en algunos de los cursos del programa, los referentes epistemológicos de esta disciplina científica. Con esto se da continuidad a la investigación “Elementos epistemológicos de la biología como referentes para su enseñanza”, que se realizó en la Maestría en Educación, en la universidad en mención.

Aguilar A. R. (2015) ¿Tú que tipo de biólogo quieres ser? Revista *Ciencias*. UNAM. núm. 115-116, enero-junio, pp. 84-92.

Los biólogos tenemos que enfrentar el desinterés del gobierno hacia el desarrollo de cualquier disciplina científica, la inadecuada percepción que la sociedad tiene del científico y el escaso campo de acción que se puede ofrecer a los egresados de las carreras científicas, sino que, hablando específicamente de la formación de biólogos y profesionales afines, existen además diversos problemas que contribuyen a dificultar la tarea de preparar al futuro egresado para enfrentarse con probabilidad de éxito al mundo real. Esta reflexión no es nueva, surge constantemente cada vez que se habla de modificar el plan de estudios de la carrera de biología o de reorientar los objetivos en la enseñanza de esta profesión, y no es exclusiva de algún centro de enseñanza en particular. De manera personal, esta cavilación surge tras varios años de docencia en la carrera de biología tanto en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México como en la Escuela de Ciencias de la Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, en donde, además, participé en una comisión encargada de revisar y actualizar el plan de estudios vigente con el propósito de modificarlo en un mediano plazo.

Kwiatkowska T. (2006) Lo natural: un concepto enigmático. Revista *Ludus Vitalis*, UNAM. vol. XIV. num. 25. pp. 153-161.

La naturaleza es un concepto que ha cambiado con el tiempo, dependiendo de las relaciones que el ser humano ha establecido con lo natural o con los sistemas de la naturaleza, diferentes al ser humano, es que ha cambiado la forma en que el humano conceptualiza lo natural. Así, el entorno de lo natural ha sido utilizado desde una visión pragmática cuando se ha utilizado como recurso de diverso tipo, desde la vivienda hasta la alimentación y también se ha dejado a la idea de que es otro, un dios el dueño de lo natural o una relación directa entre ambos que no ha involucrado al ser humano. En el presente lo natural se convierte en una preocupación para el humano desde lo cual debe repensar sus nuevas relaciones de responsabilidad frente a la crisis que la naturaleza enfrenta y verse a sí mismo como parte de esta naturaleza para permanecer como especie biológica.

**¿Qué queda de la distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación?
(What remains of the discovery-justification distinction?)**

RESUMEN

Este comentario se centra en el primer capítulo de *Abductive Reasoning* (2006), donde Aliseda ofrece nuevas herramientas conceptuales para examinar los modelos metodológicos que trazan una distinción de contextos en la investigación científica. Elucidamos la posición de Popper frente al problema del descubrimiento y distinguimos dos sentidos en que deliberadamente utiliza ‘discovery’ en su *LSD* (1959), distinción que permite reforzar la heterodoxa interpretación que hace Aliseda de la metodología popperiana. Por último, nos detenemos en la comparación entre Popper y Simon frente a la “lógica del descubrimiento”, ya que condensa las razones por las que Aliseda considera que la dicotomía descubrimiento-justificación está destinada al fracaso.

Palabras clave: abducción, contextos de investigación, descubrimiento, lógica del descubrimiento, dicotomía descubrimiento-justificación.

En el primer capítulo de *Abductive Reasoning* (2006), Atocha Aliseda presenta una valiosa elucidación de la idea de descubrimiento científico, a partir de una revisión crítica de las principales propuestas en el campo de las lógicas del descubrimiento, lógicas cuyos antecedentes se remontan a los métodos heurísticos de resolución de problemas, análisis y síntesis, de los antiguos matemáticos y filósofos griegos. Este capítulo introductorio, cuyo objetivo es más esclarecedor que propositivo, ofrece sin embargo algunas herramientas conceptuales novedosas para examinar los modelos que intentan trazar una distinción entre los diversos contextos de la investigación científica. En particular, por lo que toca a la rancia pero persistente distinción entre contexto de justificación y contexto de descubrimiento, encontramos un detallado análisis crítico que se ve reforzado por una de las tesis centrales del libro: concebir la abducción como un proceso epistémico de revisión y cambio de creencias (concepción inspirada en los trabajos de C.S. Peirce y P. Gärdenfors). Si bien el tema del descubrimiento ha sido ampliamente debatido en la filosofía de la ciencia, las más de las veces con miras a desterrarlo del análisis epistemológico, sin embargo, sigue siendo hasta la fecha un tema inmerso en un mar de confusión. En este sentido, el análisis que presenta Aliseda nos permite rastrear los orígenes de la confusión reinante, a la vez que nos coloca de lleno frente a la pregunta sobre si hay una lógica del descubrimiento y nos despliega la variedad de sus posibles respuestas.

¹ Pérez R. A. R. (2007) ¿Qué queda de la distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación? *Revista Theoria* 60: 347-350.

En lo que sigue nos enfocaremos en la controvertida posición de Karl Popper frente a esta pregunta, con la intención de destacar y apuntalar la interpretación que hace Aliseda de la metodología popperiana, para después detenernos en la comparación que establece entre las concepciones de Popper y de H. Simon sobre la lógica del descubrimiento, ya que en dicha comparación salen a la luz las razones por las cuales la autora considera que la dicotomía descubrimiento-justificación parece destinada al fracaso.

Comencemos con lo que Aliseda califica como “un hecho poco afortunado” (2006, p. 12), al referirse a la manera como se tradujo al inglés —25 años después— el título del libro de Popper escrito originalmente en alemán, *Logik der Forschung* (1934), traducción donde justamente se introduce el término ‘descubrimiento’ en el título de una obra en la que textualmente se afirma que “no existe una lógica del proceso mediante el cual se concibe una nueva idea”. A este hecho cabe añadir un dato que contribuye a aumentar la perplejidad. De acuerdo con el traductor de esta obra al español, V. Sánchez de Zavala, fue el mismo Popper quien preparó y revisó la traducción inglesa. Y si esto se enmarca en una lectura poco caritativa de *The Logic of Scientific Discovery* (LSD, 1959), como la que hace Larry Laudan, la incoherencia de Popper resulta flagrante.

Sin embargo, si nos detenemos en el epígrafe que agregó Popper en la versión inglesa —tomado de Lord Acton—, parecería que ahí se encuentra la primera clave para entender el sentido de la expresión ‘logic of discovery’ tal como figura en el título. Traducido de manera literal (no como lo traduce Sánchez de Zavala), dicho epígrafe diría: “No hay nada más necesario para el hombre de ciencia que la historia de ésta y la lógica del descubrimiento [...]: la forma de detectar el error, el uso de las hipótesis y de la imaginación, el modo de someter a prueba” (Popper 1959, p. 14, trad. y cursivas nuestras). (En defensa de Sánchez de Zavala cabe decir que a pesar de haber traducido de la versión inglesa, por instrucciones del propio Popper, sistemáticamente traduce ‘discovery’ como ‘investigación’, quizá en su afán de recuperar el sentido del original ‘Forschung’, lo cual terminó por generar mayor confusión en el medio hispanohablante.) Pero entonces, si tomamos el sentido amplio de “lógica del descubrimiento” que figura en el epígrafe, sentido que abarca actividades tan diversas como detectar errores, usar la imaginación o contrastar hipótesis, resulta claro que “lógica del descubrimiento” equivale sin más a “lógica de la investigación”. Por tanto, a nuestro modo de ver, en la versión inglesa Popper deliberadamente utilizó “descubrimiento” en dos sentidos distintos, uno amplio y otro estrecho. Lo cual, dicho sea de paso, permite salvar de la incoherencia al principal defensor del método de refutación.

En apoyo a esta afirmación nos remitimos al famoso pasaje, también referido por Aliseda (2006, p. 14), en el que Popper argumenta contra quienes defienden que la tarea de la epistemología consiste en ofrecer una “reconstrucción racional” de los pasos que conducen al científico a un descubrimiento. En ese mismo pasaje, Popper plantea la pregunta que es crucial para identificar los aspectos del descubrimiento que sí son epistemológicamente relevantes, y

que es la pregunta sobre qué es aquello que queremos reconstruir (párrafo que Aliseda omite al citar este pasaje). La respuesta que ofrece este autor pone en claro los dos sentidos en que utiliza ‘descubrimiento’. Si lo que se pretende reconstruir es el proceso involucrado durante el estímulo y la producción de inspiraciones, entonces esa no es la tarea de la epistemología. Pero otra cosa, muy distinta, es intentar reconstruir racionalmente el proceso mediante el cual “el científico juzga críticamente, modifica o desecha su propia inspiración” (Popper 1959, p. 31).

Si esto es así, cuando Popper niega que haya una lógica del descubrimiento (en el apartado donde rebate al psicologismo), claramente está utilizando descubrimiento en el sentido estrecho, esto es, como el proceso mental de generación de nuevas ideas —sobre lo cual no cabría una reconstrucción racional. Y dado el carácter fuertemente normativista de su enfoque, este autor se empeña en trazar una distinción nítida entre las tareas de una “lógica del conocimiento” y las tareas de una ciencia empírica como la psicología del conocimiento.

De este modo, una lectura cuidadosa de las primeras páginas de LSD muestra dos sentidos de descubrimiento, lo cual ofrece un considerable apoyo textual a la heterodoxa interpretación que hace Aliseda de la posición de Popper. Como afirma la autora, el usar como equivalentes “lógica del descubrimiento” y “lógica de la investigación” pone de manifiesto que para Popper el problema central de la epistemología es el problema del crecimiento (aumento, desarrollo) del conocimiento. Y si algo es crucial para dar cuenta de ese crecimiento en el modelo popperiano es la detección del error, detección que justamente forma parte de la “lógica del descubrimiento” —tal como ésta se concibe en el epígrafe añadido a LSD. En este sentido, Aliseda tendría razón cuando afirma que, bajo un análisis más fino de los contextos de investigación, “la lógica de Popper podría ser considerada como parte del contexto de descubrimiento” (2006, p. 12).

En cuanto a la rancia distinción dicotómica de contextos, Aliseda ofrece una serie de argumentos para mostrar que descubrimiento y justificación serían, en el mejor de los casos, dos momentos extremos, artificialmente congelados, de un proceso que podría subdividirse en una serie de procesos intermedios que incluirían “la presentación de una nueva idea, su evaluación inicial, la cual puede conducir a ideas más afinadas que a su vez requieren ser evaluadas, o incluso ser reemplazadas por otras ideas, exigiendo la modificación de la idea original” (2006, p. 6).

En este mismo sentido, es preciso reconocer que las fronteras entre contextos y lo que abarca cada uno de ellos- es una cuestión de elección, y por tanto convencional, que depende de cómo los distintos autores caractericen los procesos de descubrimiento, generación, construcción, exploración, evaluación, justificación, etc. En este respecto, el rastreo histórico que hace Aliseda sobre los distintos modos como se han ido trazando las fronteras entre los diversos contextos de investigación en la ciencia resulta muy ilustrativo (cf. Aliseda 2006, pp. 6-11).

Ahora bien, cuando la autora compara las concepciones de Popper y de Simón (1973) sobre la lógica del descubrimiento, tradicionalmente consideradas como antagónicas, destaca entre ellas

ciertos puntos de convergencia muy básicos que permiten entender por qué la vieja dicotomía descubrimiento-justificación resulta una herramienta tan poco útil para reconstruir el proceso de investigación. En particular, destaca el hecho de que ambos autores conciben a la ciencia como una actividad de resolución de problemas en constante evolución, cuyo principal aspecto a estudiar es el crecimiento del conocimiento (Aliseda 2006, p. 20). A su vez, este acuerdo de fondo pone de relieve que tanto Popper como Simón prestan más atención al proceso mismo de investigación y desarrollo del conocimiento, que a los productos generados en dicho proceso (se trate de hipótesis, teorías o modelos).

En cuanto a la manera de concebir el proceso, Simón, por su parte, “no está atrapado en la dicotomía descubrimiento-justificación, sino que más bien concibe el proceso de investigación científica como un continuo, donde el descubrimiento inicial y la justificación final de una teoría figuran tan sólo como los puntos extremos de todo un espectro de procesos de razonamiento” (Aliseda 2006. p. 18). En palabras de P. Feyerabend, se podría decir que Simon no queda atrapado en la “visión esquizofrenizada” de la actividad científica a la que conduce dicha dicotomía. Por lo que toca a Popper, Aliseda observa con agudeza que este autor “encontró más de lo que estaba buscando, ya que su modelo no sólo da cuenta de la justificación de teorías, sino que de hecho ofrece una metodología para producir mejores y más fuertes teorías —algo que entra en el territorio del descubrimiento, al menos por lo que toca a la cuestión del crecimiento del conocimiento” (2006, p. 20).

Ante esta convergencia de fondo, entre autores que deliberadamente entran en controversia, Aliseda aventura una conclusión de largo alcance: “Por tanto, parecería que cuando el foco de atención está en los procesos de investigación de la ciencia, más que en los productos mismos, cualquier división posible de contextos de investigación está destinada a fracasar, tarde o temprano” (ibidem).

Para terminar, debemos señalar que si bien la autora no aborda el tema de la abducción en el capítulo introductorio, sin embargo la manera como caracteriza el razonamiento abductivo (capítulo 2) está en total sintonía con su análisis de los contextos de investigación. Dicho muy brevemente, Aliseda —inspirada en Peirce y en Gärdenfors— concibe la abducción como un tipo de razonamiento, el razonamiento explicativo, el cual se encuentra en la base del proceso epistémico de revisión y cambio de creencias. Pero si esto es así, la abducción resulta entonces la pieza clave de los procesos de autocorrección del conocimiento, los cuales, por su misma naturaleza, establecen un vínculo natural entre los procesos de generación de ideas, por un lado, y los procesos de evaluación de estas, por otro —integración que hace más evidente, si cabe, el carácter artificial y distorsionante de la dicotomía descubrimiento-justificación. Esta fuerte ventaja que presenta este enfoque de la abducción para la tarea de analizar y ensamblar los distintos contextos de la investigación científica pone de manifiesto una de las principales virtudes de Abductive Reasoning, su fuerte unidad y coherencia interna.

REFERENCIAS

Aliseda, A. (2006), *Abductive Reasoning: Logical Investigations into Discovery and Explanation*, Synthese Library, Vol. 330, Springer.

Popper, K. (1959), *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson.

Simon, H. (1973), "Does Scientific Discovery Have a Logic?", in *Models of Discovery*, Pallas Paperbacks. Holland: Reidel, 1977.

La utilización del concepto de ADN en nuestra sociedad: tecnociencia, frases hechas y errores científicos

Resumen: La tecnología científica relacionada con el ADN y sus aplicaciones ha revolucionado nuestra sociedad. La información respecto a estos progresos se ha extendido rápidamente mediante los medios de comunicación. A su vez, las personas han incorporado conceptos de las tecnologías relacionadas con el ADN en su cosmovisión. La utilización de frases hechas basadas en el ADN ha tenido un gran éxito mediático, pero algunas de ellas contienen errores científicos graves. En este artículo se pretende mostrar dichos errores y posibles vías de actuación para corregirlos.

Palabras clave: ADN, cosmovisión, frases hechas, selección natural, darwinismo, herencia de caracteres adquiridos, lamarckismo.

INTRODUCCIÓN

Todos nosotros somos conscientes de los grandes avances de la tecnociencia desde mediados del siglo veinte. Entre los grandes avances la mayoría de nosotros seguramente destacaríamos la conquista del espacio, la informática y la genética molecular. Esta última ha tenido una evolución vertiginosa y arranca de los primeros experimentos que demostraron que la molécula de ADN¹¹ (ácido desoxirribonucleico) era la molécula portadora del material genético (Avery et al., 1944). Sin embargo, la comunidad científica no se convenció del todo hasta los trabajos experimentales de Hershey y Chase (1952), publicados un año antes de que Watson y Crick presentaran la estructura en doble hélice del ADN (Watson and Crick, 1953). Este evento marca el inicio de la Genética molecular. Luego vino la descripción del dogma central (las relaciones entre el ADN, el ARN y las proteínas), el descifrado del código genético, los primeros procedimientos de secuenciación del ADN, los albores de la manipulación del material genético, etc.

En pocos años, en concreto desde mediados de los años noventa del siglo pasado, se ha producido un gran desarrollo tecnocientífico en la secuenciación, análisis y manipulación del ADN. La Genética molecular se ha aliado con la informática dando lugar a la disciplina denominada Bioinformática. Sin el desarrollo también acelerado de los ordenadores con cada vez con mayor velocidad de procesamiento, capacidad de almacenamiento de información y nuevos programas informáticos aplicados (*software*) sería imposible procesar y analizar toda la información obtenida en forma de secuencias de ADN. Actualmente la tecnología permite

² Mestres F. (2012) “La utilización del concepto de ADN en nuestra sociedad: tecnociencia, frases hechas y errores científicos”, *Sociología y tecnociencia*, nº 2, Vol. 1, pp. 33-43.

nuevas formas de secuenciar el ADN, las denominadas *Next generation sequencing* (Kwon and Ricke 2011), que permiten obtener las secuencias de genomas completos en tiempos y costes aceptables. Todos estos avances se han plasmado en un mejor conocimiento de algunas enfermedades humanas, con lo que a veces es posible realizar un diagnóstico precoz o realizar un tratamiento justo después del nacimiento para minimizar los efectos de la enfermedad (Strachan and Read 2010, Sudbery 2010). La Genética molecular, junto con la Genética del desarrollo ha abierto el camino a la utilización de las células madre en la regeneración de órganos o la superación de ciertas enfermedades (Bueno, 2005). La ingeniería genética ha hecho posible, a pesar de las polémicas suscitadas, la mejora de ciertas cosechas al incorporar genes con propiedades alimenticias o de resistencia a plagas. Esta disciplina también ha permitido la obtención de ciertas moléculas que permiten superar algunas enfermedades, como la insulina o la hormona del crecimiento. Los beneficios de la ingeniería genética en nuestra sociedad son numerosos e importantes (Bueno 2008, Nicholl 2010). También la Genética evolutiva ha realizado un salto de calidad mediante las tecnologías del ADN y ahora podemos realizar comparaciones de genes individuales entre especies cercanas o no tanto o incluso entre genomas.

A pesar de que científicamente la nomenclatura correcta de la molécula es DNA, en este artículo utilizaré ADN por ser la forma en que es conocida habitualmente en nuestra sociedad, pues así aparece en los medios de comunicación, obras literarias, producciones cinematográficas, etc. enteros (Mestres 2007, Caetano-Anollés 2010). También podemos conocer la diversidad a nivel de las moléculas de ADN de especies en peligro de extinción y así diseñar estrategias de conservación (Frankham et al. 2004, Mills 2007). Finalmente comentar la importancia del estudio del ADN en Genética forense, que ha permitido la resolución de casos criminales (asesinatos, robos o secuestros), una gran mejora en la precisión de las pruebas de paternidad, la identificación de cadáveres humanos irreconocibles por métodos convencionales (por ejemplo debido a accidentes o acciones terroristas), la identificación de fraudes alimentarios (comercializar una especie de baja calidad como si fuese otra muy apreciada), la detección de cepas bacterianas usadas en acciones bioterroristas, etc. (Mestres y Vives-Rego 2009a; Butler 2010).

Por todo ello, la presencia del ADN en informaciones y noticias es constante. Además, en muchas producciones cinematográficas o televisivas actuales se habla reiteradamente de dicha molécula. Por todas estas razones el concepto de ADN ha pasado a formar parte de nuestras vidas y de nuestra sociedad.

IMPACTO DEL ADN EN NUESTRA SOCIEDAD

Uno de los primeros genios en valorar la importancia de la doble hélice del ADN y quedar fascinado por su estructura y significado fue el artista Salvador Dalí, que dedicó una serie de pinturas a esta temática, tales como “Butterfly landscape. The great masturbator in surrealist landscape with DNA” (1957-1958), “Árabes acidodesoxiribonucleicos” (1963), “Galacidalacidesoxyribonucleicacid” (1963), “Estructura del ADN” (1974) o “El ácido

desoxiribonucleico y la escalera de Jacob” (1975). Sin embargo, es desde hace unos diez años que el ADN aparece de manera reiterada y cotidiana en nuestra sociedad. De hecho, en nuestra sociedad casi todo el mundo tiene una cierta idea de qué es y qué representa el ADN.

Pero en la mayoría de las veces esta idea es imprecisa y depende, lógicamente, del nivel cultural y de conocimientos de cada persona. Por ejemplo, hay personas que piensan en una combinación indeterminada de las letras A, T, C y G (realmente son símbolos que representan a las bases nitrogenadas que son compuestos químicos que forman parte de los nucleótidos, monómeros que unidos entre si forman el ADN) con un significado enigmático, otras creen que es un mensaje codificado como el que se encuentra en las tumbas de las pirámides egipcias y que se puede descifrar sabiendo el código y así un largo etcétera. En cambio, no saben exactamente que es lo que está codificando. Por todo ello podemos afirmar que el ADN forma parte de la cosmovisión de las personas que forman nuestra sociedad. Según Cano y colaboradores, la cosmovisión puede definirse como “el conjunto de opiniones y creencias que conforman la imagen o concepto general del mundo que tiene una persona, época o cultura, a partir del cual interpreta su propia naturaleza y la de todo lo existente” (Cano et al. 2010). En general parece que para nuestra sociedad el ADN es algo relacionado con la determinación de las características del ser humano (incluyendo las enfermedades) y de otros organismos vivos, y también está relacionado de alguna manera con la transmisión de los caracteres a las siguientes generaciones.

En este contexto ha tenido éxito una frase hecha que no es más que la versión moderna de una clásica de la lengua castellana y que también existe en otras lenguas peninsulares. Así, es bien conocida la expresión tradicional “esta persona presenta tal característica *hasta los tuétanos*”. El significado es que dicha característica se encuentra totalmente arraigada en aquella persona, hasta lo más íntimo y profundo. La idea subyacente es que ha penetrado hasta una parte de nuestro cuerpo tan interna como los tuétanos que se encuentran dentro de los huesos y protegidos por su cubierta mineralizada y por tanto muy resistente. Si por ejemplo, se dice que “Margarita está enamorada de José hasta los tuétanos” el significado es que su amor es ciertamente muy profundo. Esta frase hecha existe también en lengua catalana, con el mismo significado y traducida de manera literal: “fins el moll de l’os”, donde ‘fins’ significa ‘hasta’ y ‘moll de l’os’ es el ‘tuétano’). La forma actual o moderna de esta expresión es “esta persona presenta tal característica *en su ADN*”. El concepto que se pretende transmitir es el mismo, la característica está en lo más profundo o íntimo de su ser. Esta frase hecha se ha extendido gracias a los medios de información disponibles en la actualidad. Ha sido una frase que ha hecho fortuna y que ha sido favorecida por la selección cultural: aquellas expresiones que son exitosas se extienden por nuestra sociedad. La selección cultural es en cierto modo similar a la evolución biológica, según la cual aquellos individuos mejor adaptados se reproducirán más.

Podemos citar muchos ejemplos donde se utiliza esta frase hecha, tales como: “Raúl es del Real Madrid hasta su ADN” o “Xavi lleva el Barça en su ADN”. Otro caso es el del lema para persuadir a los antiguos alumnos de la Universitat de Barcelona para que pasen a formar parte

de su asociación. La frase en cuestión es: “*Per als que portem la UB a l’ADN*” (que traducido es, “Para los que llevamos la UB en el ADN). Sin embargo, esta frase hecha socialmente afortunada contiene un gran problema, oculto para el gran público que la utiliza, y es que conceptualmente se basa en una hipótesis científica incorrecta, la denominada herencia de los caracteres adquiridos. A continuación, se presentará el por qué.

LA HERENCIA DE LOS CARACTERES ADQUIRIDOS

Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, caballero de Lamarck (1744–1829) fue un gran naturalista y el primero en postular el cambio evolutivo de las especies, pero sin embargo su explicación respecto a cómo se producía dicho cambio era incorrecta (Lamarck, 1809). Un breve y buen resumen de sus ideas puede encontrarse en Ridley (1993). Su hipótesis evolutiva se basaba en una serie de principios, como la existencia de unas fuerzas internas (de origen desconocido) que impulsaban a los seres vivos a cambiar. También exponía que el número de linajes, o líneas evolutivas, era fijo y los organismos iban acumulando modificaciones hasta dar lugar a una nueva especie. De hecho, el proceso evolutivo que él propugnaba era un transformismo. Por último, y quizás el aspecto más conocido, era su modelo genético de la herencia de los caracteres adquiridos. Según Lamarck todo esfuerzo, accidente, enfermedad, etc. que sufre un individuo queda reflejado en sus células germinales (las que darán lugar a los gametos o células reproductoras) y por lo tanto estas alteraciones se transmitirán a la descendencia. Esta hipótesis hereditaria para explicar su modelo evolutivo es errónea.

Históricamente se han realizado diferentes experimentos que demuestran inequívocamente que no es cierta. Por ejemplo, el científico alemán Weismann (1834-1914) se dedicó a cortar colas de ratones y ver si esta modificación pasaba a la descendencia. En la generación siguiente no aparecían ratones con la cola corta. Este proceso lo repitió durante más de veinte generaciones y cortando la cola a unos 1500 individuos obteniendo siempre el mismo resultado, los ratones descendientes presentaban una cola de longitud normal (Weismann, 1889). A mediados del siglo XX se realizaron otros experimentos con bacterias y virus que demostraron inequívocamente que las mutaciones son preadaptativas (Luria and Delbruck, 1943; Lederberg and Lederberg, 1952), es decir, existen antes de que tenga lugar un cambio ambiental y la selección natural darwinista escoge entre la variabilidad preexistente aquellas combinaciones genéticas que permiten una adaptación a las nuevas condiciones ambientales.

De vez en cuando algún científico publicaba que había encontrado alguna situación de evolución lamarckista, pero hasta ahora siempre se ha podido demostrar que la explicación del fenómeno desde dicha óptica era incorrecta (un buen y relativamente reciente ejemplo puede encontrarse en Lenski et al. 1989). Otro reducto clásico del lamarckismo era la generación de anticuerpos por parte del sistema inmunológico. Ciertos investigadores han apoyado esta visión lamarckista incluso en épocas recientes (Steele et al. 1998). Durante muchos años no se sabía cómo nuestro organismo era capaz de producir tanta diversidad de estas macromoléculas. Se había postulado que la entrada de un antígeno determinado en el organismo humano dirigía la biosíntesis de un

anticuerpo específico (lamarckismo). Sin embargo, la Genética molecular ha demostrado inequívocamente los mecanismos subyacentes a la generación de esta gran diversidad molecular de anticuerpos y como se seleccionaban aquellos específicos (una buena revisión puede encontrarse en Watson et al. 1988). Se escoge de entre todos los posibles anticuerpos preexistentes aquel que es el más adecuado para actuar sobre un determinado antígeno.

Por último, es de destacar que, en alguna ocasión, el lamarkismo ha producido graves repercusiones sociales. Por ejemplo, entre finales de los años 40 y principios de los 60 del siglo pasado, las directrices para la producción agrícola de la Unión Soviética estaban sustentadas en unos principios basados parcialmente en el lamarkismo. Desgraciadamente, este incorrecto enfoque tecnocientífico trajo como consecuencia unas pésimas cosechas y abundantes pérdidas para el país (para detalles puede consultarse a Rose 1976).

LA FRASE HECHA SOBRE EL ADN Y LA HERENCIA DE LOS CARACTERES ADQUIRIDOS

Conceptualmente, decir que alguien lleva una convicción “hasta su ADN”, es considerar una situación de herencia de los caracteres adquiridos, y por lo tanto desde un punto de vista científico es incorrecto. Así, si analizamos una de las expresiones citadas anteriormente nos daremos cuenta del error científico: “Xavi lleva el Barça en su ADN”. Esta expresión en el fondo implica lo siguiente: cuando el famoso futbolista nació, no era del Barça (ni seguidor, ni jugador, ni tenía genéticamente ninguna relación con dicho club deportivo), pero empezó de pequeño a demostrar cualidades para el fútbol, ingresó en el internado para jugadores noveles (La Masía) y ha acabado siendo un gran jugador. El enunciado de la frase indica que en algún momento su actividad (jugar a fútbol en un determinado club) ha modificado su material genético (su ADN) y por lo tanto podrá transmitir dicha característica a su descendencia. El otro ejemplo, el de llevar la Universidad de Barcelona en el ADN, es un caso similar. Cuando uno nace no pertenece a ninguna universidad, es más, puede ser que jamás ingrese en una institución universitaria. La frase tiene la connotación de herencia de los caracteres adquiridos, pues representa que ir a la Universidad de Barcelona de alguna manera modifica nuestro ADN. Sin embargo, en nuestro contexto social esta idea aparece como natural. Las personas no especializadas en biología hacen razonamientos del tipo: “Este chico es un gran futbolista como ya era su padre; claro, lo ha heredado”. Esta línea de razonamiento es incorrecta, el joven habrá heredado unas ciertas cualidades físicas y su ambiente familiar le ha inducido a practicar el mismo deporte que su padre. Estos comentarios los podemos oír en nuestra sociedad con hijos (o hijas) que han “heredado” una actividad de su padre (o madre). Sin embargo, es clarificador fijarse en el caso de una famosa tonadillera española. Su hija también se dedica a esta actividad profesional, pero es una hija adoptiva y por tanto no puede haber heredado esta característica genéticamente, sino que proviene de su entorno familiar (Mestres 2002). El problema es que en nuestra sociedad la herencia de los caracteres adquiridos aparece como más intuitiva. En cambio, entender el concepto de la selección natural es complejo y es difícil llegar a comprender toda la riqueza de su significado (Mestres 2002 y Mestres 2010).

IMPACTO SOCIAL DE LA GENÉTICA Y POSIBLES ACTUACIONES

Es correcto y necesario que se realice divulgación científica de la tecnociencia actual. Las personas que forman nuestra sociedad tienen el derecho a conocer los avances que se van realizando, pues una fracción importante de los logros de la ciencia y de la técnica ha sido financiada con fondos públicos. Pero es responsabilidad de los investigadores que esta información llegue de forma clara, comprensible y sin errores científicos. La tarea no es fácil, pues en nuestro caso ya he comentado que la frase hecha ha tenido éxito y se ha extendido en muchos ambientes de nuestra sociedad. En mi opinión existen dos líneas de actuación, a nivel de la enseñanza secundaria y de los medios de comunicación social. En el primer ámbito es importante que los docentes de secundaria tengan claro que la hipótesis evolutiva lamarckista es incorrecta y ha sido rechazada utilizando el método científico.

Es lamentable aún en nuestros días oír a algún docente (de secundaria e incluso universitario) que dice tener dudas sobre si el lamarckismo aún se está estudiando o si puede ser que sea correcto. Así pues, debe conseguirse la concienciación de todo el colectivo docente y después transmitir a los alumnos de forma clara las pruebas científicas que llevan a rechazar la hipótesis de Lamarck. En esta dirección es encomiable los esfuerzos del equipo coordinador de las Pruebas de Acceso a la Universidad (comúnmente conocidas como la Selectividad) de Catalunya, pues llevan a cabo reuniones y seminarios especializados para docentes de secundaria donde se exponen los conocimientos actuales de la teoría evolutiva (la denominada teoría Sintética de la Evolución). Además, a los correctores de las Pruebas de Acceso a la Universidad se nos advierte que respuestas de tipo lamarckista en los exámenes se consideran errores graves. A nivel de los medios de comunicación es responsabilidad del investigador dar una información precisa y clara, verificando también que el periodista responsable de la difusión de la noticia haya entendido bien el avance tecnocientífico que se le está presentando. Es una buena costumbre realizar la supervisión del texto redactado por el periodista antes de su difusión y así poder corregir malas interpretaciones y errores. Es evidente que un profesional del periodismo no tiene por qué ser especialista, por ejemplo, en Genética molecular. Considero fundamental que la noticia sea correcta, pues ello evitará malas interpretaciones entre las personas que forman nuestra sociedad. A su vez es importante enviar cartas a los medios de comunicación explicando correctamente las informaciones tecnocientíficas que han sido redactadas y publicadas conteniendo errores. Por último, otro aspecto a tener en cuenta es no generar falsas expectativas a la sociedad sobre cuando se alcanzará la solución, por ejemplo, de una enfermedad (el cáncer, el SIDA, enfermedades hereditarias complejas, etc.). Muchos profesionales del periodismo creen importante saber cuándo se alcanzará un objetivo tecnocientífico, pero los que nos dedicamos a la investigación sabemos que no pueden darse plazos.

Por último, me gustaría hacer una breve generalización sobre el impacto social de los avances de la Genética. Desde los albores de la Genética molecular, con la posibilidad de manipular los

genomas de los organismos, se han planteado toda una serie de cuestiones de tipo bioético (Suzuki and Knudtson 1990). Los avances a nivel de la Genómica, fundamentados en las nuevas tecnologías de secuenciación y de análisis de los datos, abren nuevos interrogantes y debates a nivel social. Hace unos años nos preguntábamos cuestiones tales como: ¿Se estudiarán nuestras características genéticas antes de acceder a un determinado puesto de trabajo? ¿Analizarán las compañías de seguros nuestro genoma y según como sea nos permitirán tener una póliza con ellas? ¿Se volverán a plantearse programas eugenésicos? Estos interrogantes son cada vez menos un tema de futuro y más de presente. Sin embargo, la Genética nos da respuesta a algunas de estas cuestiones. Muchas veces se olvida la primera lección de todo curso básico de Genética. Las características que mostramos para un carácter concreto (el color de la piel, la estatura, la predisposición a una enfermedad), es decir, lo que técnicamente se denomina el fenotipo dependen de dos factores: el componente genético o genotipo (que puede deberse a un solo gen, pero en la mayoría de las veces hay un conjunto de genes implicados y no actuando todos por igual) y el ambiente (en el sentido más amplio posible: biológico, físico, cultural, social, etc.). Este punto es crucial y sin embargo muchas veces o se desconoce o se olvida. El efecto del ambiente modulando las características humanas no es conocido ni por la mayoría de los periodistas ni por la mayor parte de los miembros de nuestra sociedad, que consideran (erróneamente) que algunas características genéticas determinarán inexorablemente el destino de los individuos que las poseen. Por ello, hay que hacer notar a nuestra sociedad que el hecho de conocer que una persona presenta una predisposición genética a una enfermedad no implica que forzosamente acabará por padecerla (Lemke 2002, 2004). Es más, la sociedad puede beneficiarse del conocimiento de este riesgo genético, pues las personas, al conocer sus posibles predisposiciones a ciertas enfermedades, pueden actuar libremente tomando medidas para evitar, mitigar o retardar el desarrollo de la dolencia (Lemke 2002, 2004). Además, a nivel genómico, todos los miembros de la sociedad presentan seguramente alguna predisposición genética a un tipo u otro de enfermedad.

Sin embargo, existe la posibilidad real de tener recopilados los datos genéticos de los ciudadanos. Una de las mejores armas con las que cuenta nuestra sociedad para combatir la delincuencia es la Genética forense, que permite conocer los perfiles genéticos de los individuos y relacionarlos con ciertos delitos cometidos. La eficiencia del sistema se basa en acumular la información del mayor número de individuos en los bancos de datos policiales. La instauración y expansión de dichos bancos de datos abre nuevos debates éticos, legales y sociales (Mestres y Vives-Rego 2009b; Krimski and Simoncelli 2011), pues se plantean preguntas como: ¿Quién debe estar incluido en un banco de datos policial? ¿Quién puede tener acceso a estos bancos de datos y bajo qué condiciones? Una vez incluido el perfil genético de una persona en un banco de datos, ¿lo estará a perpetuidad? Además, existe otra vertiente aún más importante. En algunos países (como por ejemplo los Estados Unidos) además de almacenarse informáticamente los perfiles genéticos individuales de las personas también se guardan muestras sanguíneas en unas fichas con sustancias que preservan el DNA (fichas FTA). Por tanto, puede reanalizarse el contenido genético de dichos individuos (incluso muchos años después de haber obtenido la

muestra sanguínea) y conocer potencialmente todo su genoma. Surgen pues más cuestiones de interés social, legal y ético: ¿Es lícito que se pueda almacenar dicho material biológico? ¿Quién y en qué condiciones puede acceder a él? ¿Con qué finalidad se autorizará un reanálisis del material genético de una persona? Todas estas cuestiones están relacionadas directa e indirectamente con la Genética y necesitarán un enfoque pluridisciplinar para obtener respuestas adecuadas a las inquietudes de nuestra sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Avery, D. T., McLeod, C. M. and McCarty, M. (1944): "Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleotid acid fraction isolated from pneumococcus type III", *J. Exp. Med.*, 79, 137-158.
- Bueno, D. (2005): *Òrgans a la carta*. Omnis cellula – Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Bueno, D. (2008): *Convivint amb transgènics*. Omnis cellula – Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Butler, J. M. (2010): *Fundamentals of forensic DNA typing*. Elsevier Academic Press, Burlington (MA). USA.
- Caetano-Anollés, G. (2010): *Evolutionary genomics and systems biology*. Wiley-Blackwell. Hoboken (NJ), U.S.A.
- Cano, M., Vives-Rego, J. y Mestres, F. (2010): "La Weltanschauung (Cosmovisión) en el comportamiento medioambiental del siglo XXI: cambios y consecuencias", *Ludus vitalis*, 18, 275-278.
- Frankham, R., Ballou, J. D. and Briscoe, D. A. (2004): *Introduction to Conservation Genetics*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Hershey, A.D. and Chase, M. (1952): "Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage", *J. Gen. Physiol.*, 36, 39-56.
- Krimsky, S. and Simoncelli, T. (2011): *Genetic Justice*. Columbia University Press. N. Y.
- Kwon, Y. M. and Ricke, S. C. (2011): *High-throughput next generation sequencing: methods and applications (Methods in Molecular Biology)*. Humana Press Inc., Springer Protocols, N.Y.
- Lamarck, J. B. (1809): *Philosophie Zoologique*, Paris.
- Lederberg, J. and Lederberg, E. (1952): "Replica plating and indirect selection of bacterial mutants", *J. Bacteriol.*, 63, 399-406.
- Lemke, T. (2002): "Genetic Testing, Eugenics, and Risk", *Critical Public Health*, 12, 283-290.
- Lemke, T. (2004): "Disposition and determinism-genetic diagnostics in risk society", *The Sociological Review*, 52, 550-566.
- Lenski, R. E., Slatkin, M. and Ayala, F. J. (1989): "Mutation and selection in bacterial populations: Alternatives to the hypothesis of directed mutation", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86, 2775-2778.
- Luria, S. E. and Delbruck, M. (1943): "Mutations of bacteria from virus sensitivity to virus resistance", *Genetics*, 28, 491-511.

- Mestres, F. (2002): “El difícil concepto de selección natural”, *Ludus vitalis*, 10, 221-226.
- Mestres, F. (2007): “Presente y futuro de la genética evolutiva”, *Ludus vitalis*, 15, 221-226.
- Mestres, F. (2010): “Consideraciones respecto de dos conceptos fundamentales en Biología evolutiva: a selección natural e a noción de tempo”, *Roteiros*, 4, 123-134.
- Mestres, F. y Vives-Rego, J. (2009a): “Genética forense: entre la tecnociencia y la imaginación”, *Ludus vitalis*, 17, 447-450.

La antigua tarea de ordenar y clasificar a las ciencias

Autor³

Uno de los temas de estudio considerado como un verdadero clásico, entre las preocupaciones de la epistemología en general y de la metodología científica en especial, es el referente a la clasificación de las ciencias. En efecto, la cuestión de la revisión de las aprehensiones cognitivas existentes en cada época histórica y su consecuente ordenamiento, prácticamente se remonta a la época del esplendor de la cultura griega, y a partir de aquí, parece revivir con el dinamismo emergente de los sistemas filosóficos. En lo que sigue, por tanto, se analizan algunas de tales ordenaciones, enfatizando en los aspectos filosóficos, epistemológicos e históricos de las mismas; y se deja de manifiesto el impacto y la utilidad de estas clasificaciones, en la cultura y en el marco social.

El tema de la clasificación de las ciencias ha sido una preocupación constante en los círculos provenientes de la filosofía. Así por ejemplo, ya Aristóteles (s. IV. a. n. e.), dividía las ciencias en poéticas (poesía y retórica); prácticas (ética, política y economía) y las teóricas. Esta última incluía a la matemática, a la filosofía primera y filosofía segunda. La filosofía primera se subdividía en teología y metafísica y la filosofía segunda, correspondería a la física. Es probable que en esa época, el asunto de jerarquizar y ordenar el acervo científico, no haya promovido una mayor discusión; dado el escaso conocimiento alcanzado por las ciencias particulares, puesto que en la práctica ellas estaban insertas en la propia filosofía. Esto porque las ciencias eran concebidas como un gran sistema teórico-deductivo. Es la idea de la episteme griega.

Así, ciencia y filosofía estaban identificadas plenamente y cubrían todo el saber existente; ya sea referente al cosmos, o en relación a la naturaleza, al hombre o a la sociedad y sus fenómenos. El filósofo era entonces al mismo tiempo, el físico, el matemático, el astrónomo, el psicólogo, el sociólogo, el teórico y el supra-científico. Sin embargo, independientemente de la cultura y del tiempo histórico, no es sólo la cuestión del aumento cuantitativo del saber, lo que dificulta la consecución de un cuadro organizado y sistemático de las ciencias. Es un problema de criterios de selección, es una cuestión epistemológica que apunta a la obtención de ciertos ejes temáticos o cognitivos, que actúen como elementos ordenadores de lo conocido; o de lo válidamente conocido. La historia nos muestra que los filósofos buscan los criterios más adecuados para ordenar las distintas disciplinas particulares. Entre estos, recuérdese el criterio

³ Saldivia M. Z. (2009) La antigua tarea de ordenar y clasificar a las ciencias. Revista UNIVERSUM. N° 24. Vol. 1. Universidad de Talca. Chile. Pp. 206-248.

analógico, utilizado por Francis Bacon (s. XVI-XVII), quien vincula las distintas disciplinas del saber con ciertas facultades humanas. Así, habla de la historia (propia de la memoria), de la poesía, literatura y arte (propia de la facultad de la imaginación). Y de la filosofía, teología y cosmogonía, (para la facultad de la razón). En esta clasificación, no se aprecia un criterio de jerarquización definido en base a una supuesta superioridad cognitiva, puesto que las ciencias, son consideradas aquí, como constructos que participan todas a un mismo nivel y en torno a determinadas facultades humanas. Más tarde, durante el Siglo de la Ilustración, Diderot y D'Alambert, continúan estos esfuerzos de ordenación del saber, por ejemplo, en **La Grande Encyclopédie** (1751), donde hablan de diversas disciplinas que se ubican en tres grandes bloques: ciencias de la historia, ciencias del hombre y ciencias de la naturaleza, con sus desgloses respectivos; así por ejemplo, este último bloque queda subdividido en: Aritmética, Geometría, Mecánica, Astronomía, Óptica, Acústica, Neumática, Meteorología, Cosmología, Botánica, Mineralogía, Zoología y Química.

Esta clasificación propuesta por Diderot y D'Alambert, queda inserta en el ideario del marco filosófico ilustrado que pretende llevar las luces del conocimiento a todos los espíritus selectos. Es el corazón de una gran empresa que no sólo se limita a dar cuenta de las ciencias, sino que además persigue ordenar y clasificar todas las cosas; por ejemplo, desde la mirada social, alude a los procedimientos para la fabricación de alfileres, la declinación de los verbos, los tipos de armas, las estrategias militares, los pasos de la esgrima, las tácticas navales, las industrias, las formas de realizar vendajes, los oficios o los juegos, entre tantos otros. Y en cuanto a las ciencias, entre sus referentes de estudio, esta empresa de difusión cognoscitiva describe a los mamíferos, a los tipos de aves, a los reptiles, a los peces conocidos, a la flora europea, o a los instrumentos médicos, por ejemplo. Y si bien para nosotros como contemporáneos, dicha clasificación puede parecernos inofensiva, porque sus temas están insertos desde hace mucho en nuestro orden científico y tecnológico, los estudios más recientes sugieren que fue muy atrevida y que escandalizó la vida intelectual del siglo XVIII, porque deja atrás la ortodoxia cognitiva del *trivium* y el *cuadrivium* del medioevo. Y en especial, porque señala que el conocimiento no es un don divino, sino una conquista humana que se va perfeccionando y que permite -dentro del espíritu ilustrado- la obtención de la felicidad. Con razón, en la actualidad, Darnton expresa que **La Grande Encyclopédie** fue una forma de ejercer un nuevo poder; el poder del conocimiento, el cual radicaría en el hecho de que la misma “expresaba un intento de trazar la frontera entre lo conocido y lo incognoscible, de tal manera que se eliminaba la mayor parte de lo que los hombres habían creído sagrado en el mundo del conocimiento”.

EL POSITIVISMO Y SU CLASIFICACIÓN

Comte, a su vez, en el siglo decimonono, parte del análisis histórico y conceptual, y considera que el conocimiento pasa a lo largo de la historia por hitos previos, hasta arribar a un estado final que él denomina “ciencia positiva”. Esto es, un esquema del devenir de la sociedad que descansa en su tesis que sostiene que la misma pasa necesariamente por tres estadios históricos: teológico, metafísico y positivo. En virtud de esta tesis, Comte agrupa a las ciencias, a partir del

desmembramiento de un tronco metafísico común: *v. gr.*; la astronomía, que se habría desprendido de las categorías mágicas de los números y de figuras arquetípicas asociadas con la astrología. La física celeste y terrestre, que se habrían emancipado a su vez, de la astrología; la química, que se habría separado de su antiguo maridaje con la alquimia. La fisiología, por su lado, se habría generado a partir de la antigua medicina y de la antropología filosófica. Finalmente la sociología, que se habría desprendido de las utopías filosóficas y de la metafísica social, y en virtud de sus nuevos métodos, entraría ahora a gozar de la condición de ciencia. La inserción de la sociología en el ámbito científico, sería también -según Comte- equivalente al inicio del estado positivo de la humanidad. Por tanto, en este esquema, el universo científico queda compuesto por: la astronomía, la física, la química, la fisiología y la sociología². Pero luego agrega una sexta ciencia: la matemática³. El nivel de la ciencia positiva posibilita a su juicio, la consecución de un hito de la humanidad, en que la ciencia se institucionaliza como una instancia que fomenta el progreso y el bienestar en el plano social. En el plano epistemológico y metodológico, dicha ciencia positiva, deja de manifiesto la necesidad que tiene la humanidad de sistematizar el conjunto de todos los conocimientos que ha alcanzado, y permite a su vez, configurar una teoría de la mentalidad positiva y la difusión de una nueva jerarquización de las ramas del saber.

Al observar el desarrollo histórico de las ideas, se aprecia que el auge por la preocupación en torno a la clasificación de las ciencias se manifiesta en el siglo XIX, con los aportes de Auguste Comte (1798-1857), Herbert Spencer (1820-1903) y Wilhelm Wundt (1832-1920), entre otros. Ello estaría mostrando un correlato entre el cientificismo positivista y la necesidad de contar con “una especie de abreviado esquema de mundo”⁴. También, indica una sobrevaloración y una extrema confianza en el trabajo científico; en especial, en cuanto al *télos* de la ciencia, el cual es percibido como la obtención de un estado de crecimiento positivo del ser humano. Las divisiones de las ciencias reflejan en El Siglo del Progreso, una percepción sociocultural, que concibe a la ciencia como una forma efectiva de explicitación de los hechos del mundo y como una institución que fomenta el orden y la tranquilidad social. Durante el Siglo XIX, justamente la expansión de las ideas positivistas entre las elites intelectuales y políticas latinoamericanas, contribuyen a la difusión del método científico, a la conveniencia de instaurar una educación científica, y en general, a llevar el conocimiento a la juventud de ambos sexos. Dichas ideas, contribuyen al mismo tiempo, ora en cuanto a una renovación de la educación, ora en el proceso de construcción de las repúblicas del Nuevo Mundo. En síntesis, dicho movimiento, actúa como un cuerpo teórico o como un mecanismo para la obtención del progreso efectivo de la humanidad, y muy especialmente, como un paradigma exitoso al que necesariamente se debe alcanzar, para la regeneración moral de la sociedad⁵.

Clasificar las ciencias, por tanto, es una tarea que persigue descubrir las relaciones entre las mismas y determinar la vinculación de las distintas disciplinas con la filosofía. Lo prioritario aquí, es dar cuenta de los criterios y principios rectores en los que descansa la distribución de las disciplinas. Desde el punto de vista de la lógica, la clasificación de las ciencias está

fundamentada en las relaciones de superordenación y subordinación, así como también de las vinculaciones en un mismo nivel o coordinación. Dentro de la división, cada miembro es excluyente del otro. Los principios que sirven de hilos conductores para la clasificación de las ciencias están generalmente tomados a partir de los objetos de estudio de cada ciencia, de los métodos que utilizan y de los propósitos a los cuales se desea que la ciencia se someta. Empero, una clasificación específica es únicamente una radiografía cognitiva y pedagógica de un período histórico acotado. Las clasificaciones de las ciencias, para que sean debidamente comprendidas, deben ser consideradas dentro del marco social, histórico y cultural en el cual los pensadores lograron tales sistematizaciones. Fuera de este contexto, resultan meras entelequias inoperantes, difíciles de sustentarse, sobre todo al confrontarlas con las ciencias o la cultura de otra época. Así, Aristóteles se vería en dificultades en el siglo XXI, para demostrar por qué razones la ética es tan práctica como la economía, para el ascenso social; puesto que la cultura de nuestro tiempo tiene una marcada influencia del pragmatismo y del positivismo. Y por tanto, en este contexto, la ética no siempre es tenida en cuenta para el ascenso social y sólo aparece visible en un plano abstracto y secundario. Lo anterior, nos permite apreciar que las clasificaciones de las ciencias propuestas por los filósofos tienen una clara articulación con la sociedad y con la cultura de su tiempo; o como lo expresa Francisco Romero: “sólo tienen sentido cabal dentro del total mundo de pensamiento en el cual brotan”.

El enfoque del marxismo

Más tarde, observamos que el marxismo también logra motivar la formulación de diversas jerarquizaciones sobre las ciencias. En este caso, las líneas centrales para estas ordenaciones se toman tanto de las obras de Engels, tales como la Dialéctica de la naturaleza y del Anti-Dühring; así como de algunas obras de Lenin, como, por ejemplo, sus Cuadernos filosóficos. Lo más relevante en este enfoque marxista, es la primacía de la dialéctica; la cual, aparece concebida como una mega-ciencia, o como una ciencia globalizante que subordina a las ciencias particulares. También, desde un punto de vista metodológico, en este esquema, es posible apreciar la linealidad excluyente entre las mismas. Al respecto, Kedrov y Spirkin nos presentan la siguiente clasificación.

1. CIENCIAS FILOSÓFICAS

Dialéctica

Lógica

2. CIENCIAS MATEMÁTICAS

Lógica Matemática y matemáticas prácticas, incluyendo la cibernética.

Matemática

3. CIENCIAS NATURALES Y TÉCNICAS

Mecánica y mecánica aplicada

Astronomía y astronáutica

Astrofísica Física

Física y físico-técnica
Fisicoquímica
Química-física
Química y ciencias químico-tecnológicas, incluyendo la metalurgia y la minería.
Geoquímica
Geología
Geografía
Bioquímica
Biología y ciencias agropecuarias
Fisiología humana y ciencias médicas
Antropología

4. CIENCIAS SOCIALES

Historia
Arqueología
Etnografía
Geografía económica
Estadística económico-social
Ciencias que estudian la base y las superestructuras:
Políticas y económicas, ciencias estatales, jurisprudencia,
Ciencias que estudian el arte y su historia, etc.
Lingüística
Psicología y ciencias pedagógicas, etc.

La ordenación anterior, deja de manifiesto, la importancia de la dialéctica como disciplina y como procedimiento metodológico de validez del conocimiento alcanzado; así como también, el enorme rango explicativo que ella permite para la adquisición cognitiva y para la determinación de las leyes de la naturaleza y la sociedad. La máxima difusión de esta clasificación ocurre en las décadas del cincuenta y del sesenta del siglo XX.

LA PERSPECTIVA DE LA EPISTEMOLOGÍA GENÉTICA

A su vez, a mediados del siglo XX, el psicólogo y epistemólogo suizo, Jean Piaget (1896-1980), también aborda este problema filosófico, pero lo hace desde la perspectiva de una disciplina que él mismo funda en Ginebra: la epistemología genética, o disciplina que estudia “el paso de los estados de menor conocimiento a otros de conocimiento más avanzado”⁹. Y en este contexto, su clasificación en términos generales, corresponde a un círculo evolutivo de relaciones mutuas entre las ciencias particulares, que en gran parte coincide con el desenvolvimiento histórico del conocimiento científico. Así, en el esquema piagetano, las ciencias formarían una estructura circular que partiría de la lógica y de las matemáticas. Y desde las matemáticas se pasaría a las ciencias físicas y luego a las ciencias biológicas, y de éstas, a las ciencias psico-sociales, para arribar nuevamente a las ciencias formales; pero esta vez, tales disciplinas estarían en un nivel de mayor validez cognoscitivo.

Esquemáticamente, dicho modelo es posible visualizarlo así: Y con respecto a las ciencias sociales en particular, Piaget ofrece una exhaustiva ordenación:

“Ciencias de leyes: sociología, antropología cultural, psicología, economía política y econometría, demografía, lingüística, cibernética, lógica simbólica y epistemología del pensamiento científico, pedagogía experimental.

Disciplinas históricas: Historia, filología, crítica literaria, etc.

Disciplinas jurídicas: Filosofía del derecho, historia del derecho, derecho comparado, etc.

Disciplinas filosóficas: Moral, metafísica, teoría del conocimiento, etc....”

La difusión de la clasificación piagetana de las ciencias, al parecer tiene su apogeo en las décadas sesenta y setenta del Siglo XX; esto es, al mismo tiempo que se consolida en la comunidad científica la Teoría Evolutiva de la Inteligencia del sabio ginebrino.

Y también coincide con una era, en que se produce una interesante discusión, entre los exponentes de la epistemología tradicional proveniente de los círculos filosóficos y los representantes de una epistemología emanada de las ciencias de la vida.

El aspecto utilitario

Ahora bien, vistos algunos ejemplos, cabe preguntarse ¿para qué sirve una clasificación de las ciencias? ¿O es sólo una sistematización que muestra un estatus superior que se atribuye la filosofía sobre las otras ciencias? ¿Por qué este intento

CIENCIAS FÍSICAS
CIENCIAS PSICOSOCIALES
CIENCIAS BIOLÓGICAS
CIENCIAS LÓGICO MATEMÁTICAS

¿Sostenido en los círculos epistemológicos? Las interrogantes pueden ser numerosas, pero lo que está claro es que necesitamos saber el dominio efectivo de nuestra intelección cognitiva; es como si tuviéramos una enorme mansión y tenemos que recorrerla para saber cómo utilizar cada habitación, cada resquicio. Volviendo a las preguntas, el primer interrogante alude a la utilidad de estas.

El lado práctico de la clasificación de las ciencias se visualiza por ejemplo en las enciclopedias y en los diccionarios; puesto que en estos medios consignamos todo lo conocido, y las ciencias son un objeto institucional y social que goza de mucha simpatía; de modo que en cualquier momento deseamos saber algo peculiar de una de ellas, o bien, queremos tener la visión panorámica de este vasto universo cognitivo.

Y en aquellos momentos, una clasificación actualizada nos viene muy bien. Por otro lado, también las instituciones internacionales, requieren un amplio detalle del estado de las ciencias, principalmente las entidades vinculadas a la cultura y a las artes. En nuestra época por ejemplo, existen la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización de Estados Americanos (OEA), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), o -en Chile- el Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), y otras, que requieren de una ordenación de las distintas disciplinas; ya sea para parcelar los objetivos institucionales y apartar recursos para el logro de los mismos, o bien, para entregar los recursos a los exponentes de las diversas disciplinas. Lo propio, acontece en organismos nacionales vinculados a la investigación científica y al fomento de la misma. De este modo, se facilita la retroalimentación y ubicación de los distintos temas cognitivos, así como la incorporación oportuna de los nuevos resultados científicos y tecnológicos, en los medios de difusión.

Dichas sistematizaciones, posibilitan también la coordinación y la cooperación de las distintas actividades entre los científicos de las diferentes especialidades, y contribuyen a articular mejor los resultados de las investigaciones teóricas y prácticas. A solucionar en parte, el problema de la relación entre asignaturas técnicas y humanísticas 11. Por tanto, tales clasificaciones, favorecen la ubicación de las obras en las bibliotecas, así como la vinculación entre los requerimientos del marco social y político de un país, y las necesidades de desarrollo científico o de investigación del mismo. Ello, a través de las políticas científicas, que están obligadas necesariamente a conocer la existencia del acervo disciplinario y su diversidad.

Estos últimos dos temas, la cuestión del acopio disciplinario y la diversidad cognoscitiva, apuntan a un asunto analítico clásico, ya percibido por Kant: el problema de los límites del pensar. En rigor, el problema de fondo en las clasificaciones del saber, trasciende el utilitarismo y se enmarca en una temática esencialmente epistemológica: la necesidad de que la razón, el *lógos*, llegue hasta las últimas expresiones de los conocimientos existentes, hasta los deslindes de las aprehensiones cognitivas; ello, para determinar la extensión más apropiada de los conocimientos científicos. Esto es, de un tipo de saber que identifica, describe, explica y predice los hechos del mundo, y que al mismo tiempo participa de una coherencia lógica interna, de una notoria sistematicidad, que persiga la búsqueda de la objetividad, y que pueda comunicar sus resultados, entre otras notas relevantes, tal como ya lo han destacado Mario Bunge, o Esther Díaz 12. Esto es, un claro afán enciclopédico en que el intelecto pretende autodeterminar sus límites máximos de extensión cuantitativa. Para ello -como metodología- la estructuración lógica de la división y subdivisión excluyente de las distintas ciencias, en cada clasificación, cumple dicho requerimiento.

También está en juego en estas clasificaciones de las ciencias, la necesidad epistemológica de profundizar el saber. Esto es, contar con la filosofía como disciplina que analice los principios teóricos en que se sustentan las ciencias particulares. “El conocimiento científico puede crecer en superficie o en profundidad, es decir puede extenderse acumulando, generalizando y sistematizando información, o bien introduciendo ideas radicalmente nuevas que sinteticen y expliquen la información de que se dispone”¹³. En la práctica del quehacer filosófico, ambas formas de abarcar todo lo cognoscible se complementan. Cualquier corpus filosófico, intenta siempre una configuración o explicación de la totalidad, de todo aquello que está en el horizonte cultural. Esto significa que, por lo general, las concepciones filosóficas, están en condiciones de presentar ideas rectoras para la comprensión de los hechos del mundo y de los eventos sociales. Por lo anterior, muchas concepciones filosóficas -aun trascendiendo la época de su formulación- sirven como marco teórico en el cual es posible encontrar un cúmulo de valores y principios para la acción social o para la acción política.

Por otro lado, también hay que tener muy presente que cualquier clasificación de las ciencias, por más completa y coherentemente lógica que nos parezca, trasunta necesariamente ciertas preferencias subjetivas del científico o filósofo que jerarquiza u ordena. Y a su vez, tales preferencias están articuladas, emanan o se vinculan, a ciertos códigos y denominaciones, o “reja de denominaciones”, conque a través del lenguaje pretendemos decir algo acerca de la naturaleza o de las cosas del mundo, tal como ya lo ha señalado Foucault ¹⁴ y en este caso, acerca de nuestros propios productos intelectuales: los conocimientos. Ello es comprensible pues hoy sabemos que el principio antrópico nos sigue y tácitamente coexistimos con él para la creación de nuestros constructos; sean éstos teorías, hipótesis o clasificaciones epistémicas. Y en este sentido nunca encontraremos una clasificación pura u objetiva a ultranza. Son ordenaciones momentáneas muy convenientes para percibir nuestro horizonte intelectual, unas más lógicas y rigurosas que otras, pero no pueden ser definitivas ni esencialmente objetivas *per se*; simplemente son útiles y convenientes en cada contexto histórico.

Y aún por muy completa que sea nuestra clasificación, además queda otro obstáculo: el hecho de que el desarrollo científico-tecnológico es un continuo devenir que no decanta. Esto proporciona un carácter tentativo y momentáneo a todas las ordenaciones jerárquicas sobre las ciencias. Así las cosas, toda clasificación epistémica es un intento audaz de corte dentro del proceso mismo de la marcha científica y del avance cognitivo en general. Por ello, lo importante es tener presente que “... estos sistemas, sea cual fuere la forma en que se presentan, y especialmente si vienen completados por una clasificación jerárquica, deben aceptarse tan sólo si se tiene en cuenta que son aproximativos, relativos y provisionales”.

La cita precedente, ilustra la validez relativa de las clasificaciones de las ciencias y su énfasis provisorio. Así, por un lado está el crecimiento cuantitativo, enciclopédico (en superficie), y por otro, el crecimiento en torno a profundizar sobre los principios y los conceptos de las ciencias y las vinculaciones entre las mismas (en profundidad), tal como ya lo ha destacado Bunge ¹⁶. En

suma, la persistente preocupación por clasificar las ciencias, ha provenido tradicionalmente de la filosofía, aunque actualmente hay otras disciplinas que también contribuyen a esta tarea, tales como la representación temática de la información, las técnicas de manejo de la información, registros del conocimiento y otras disciplinas de la bibliotecología; empero, en estos casos, siempre descansan en un esquema filosófico tradicional previo, y se orientan principalmente a los aspectos cuantitativos; lo grueso, lo cualitativo, las razones de los ejes ordenadores, sigue siendo epistemológico y filosófico: encontrar el sustrato inteligible que dé más garantías de confiabilidad para abarcar una estructuración de toda la sistematización científica. Así, al parecer, la antigua tarea filosófica, goza de buena salud y se sigue recurriendo a ella para abarcar toda la sistematización científica inserta en un período histórico determinado. Es el eterno devenir de mirar, aprehender, sistematizar y clasificar lo que la racionalidad científica nos ha legado. Un viejo anhelo nunca totalmente logrado, pero no por eso olvidado.

La investigación científico-tecnológica debe suponer nuestra fragilidad humana

Autor⁴

I.

Pensar que la investigación científica y su aplicación tecnológica son neutrales y pueden realizarse al margen de todo contexto es un error. Cualquier investigación, incluyendo la científica, tiene lugar con relación a unas condiciones culturales, económicas, sociales, políticas, ecológicas, físicas, biológicas, etc., de modo que “la idea de la separación completa de la ciencia respecto al ambiente social es una falacia que fomenta la irresponsabilidad en los científicos, por lo que respecta a las consecuencias sociales de su trabajo” (Dewey 1950: 536).

Uno de los mayores riesgos de nuestros días es que el conocimiento de los hombres no corresponde a la escala del poder tecnológico de su aplicación. Lo deseable sería que las decisiones que tomen científicos, empresarios, políticos, industriales, entre otros, se basen en buenas razones que prevean y evalúen las consecuencias que podrían esperarse. La observación de los resultados alcanzados, en contraste con los que se tuvieran en perspectiva, permitiría confirmar las hipótesis planteadas, o bien, rechazarlas y reevaluarlas.

Sin embargo, en lo que respecta a la investigación biotecnológica, aunque las medidas que se tomen se fundamenten en buenas razones, todavía no se puede garantizar que las consecuencias que se sigan no nos tomarán por sorpresa, o que no habrá subproductos de la ciencia imprevistos. El conocimiento se convierte, pues, en un deber urgente para poder predecir con alta precisión. Con todo, cualquier valoración queda rezagada frente a la autonomía de los organismos vivos con los que se experimenta, así como frente a los efectos ignorados e irreversibles que se deriven de ello. Por eso Hans Jonas insiste en que es necesario el reconocimiento de la ignorancia como el reverso del deber de saber; se requiere cautela (Jonas 1995: 34), pero este reconocimiento implica, sobre todo, que quienes toman las decisiones y quienes están a cargo de las investigaciones se interesen por las consecuencias que podrían sufrir otros como resultado de sus experimentos y, en general, como resultado de sus acciones. Este interés en que el otro no sufra no se consigue por la vía del conocimiento científico y su aplicación tecnológica.

II.

Quienes forman parte de las comunidades científicas son sujetos constituidos por ciertos valores e intereses que en buena medida determinan los fines de las investigaciones que realizan (Kitcher 2001: cap. IV). Para decirlo de otra manera, el tipo de investigación que se lleva a cabo y los medios para alcanzar los fines previstos están fuertemente orientados por lo que los sujetos consideran valioso. Lo que los hombres y mujeres encuentran valioso está ligado a las emociones que, a lo

⁴ Gómez S. M. (2010) La investigación científico-tecnológica debe suponer nuestra fragilidad humana. Revista Ludus Vitalis, UNAM. vol. XVIII, num. 33, pp. 291-294.

largo de su vida, los han ido constituyendo en quienes son, es decir, está ligado a su forma de mirar las cosas cargadas de valor, y ello atañe también a su concepción de vida buena (Nussbaum 2008: 268-269).

El reconocimiento de una situación relevante para el florecimiento humano dependerá, pues, de lo que consideremos valioso y esto puede variar de una persona a otra, de una forma de vida a otra. Frente a esta diversidad de valoraciones, ¿cómo llegamos a interesarnos en que el otro no sufra? Podríamos contestar que a partir de imaginar cosas que podrían pasar y nos importa que lleguen a ocurrir, lo cual, tiene como condición el ser conscientes de nuestra propia debilidad y vulnerabilidad. Más específicamente, nos interesamos en que el otro no pene cuando reconocemos que sus posibilidades de sufrimiento y vulnerabilidad son parecidas a las nuestras. Así, podríamos interesarnos en la aflicción del otro si reconocemos la posibilidad de que padezcamos en nuestra propia piel una adversidad como la que aquél vive, esto es, percibimos como alguien a quien efectivamente cierto tipo de cosas pueden pasarle (Nussbaum 2008: 355, Rousseau, J. J. 1998; Aristóteles 2001, 2000). En este sentido, atender que el otro no sufra puede vincularse a un ámbito más general en el que también se valida el evitar nuestro propio sufrimiento. Debemos insistir, esto descansa en el presupuesto de la conciencia de que no somos autosuficientes.

III.

En otros tiempos, el deber hacia otros tenía límites más claros, el horizonte temporal solía circunscribirse a la duración previsible de una vida humana y el horizonte espacial se identificaba con un lugar concreto en el que lo común era que las personas interactuaran estando físicamente presentes. En la actualidad, donde la investigación científica y el desarrollo tecnológico han transformado nuestras vidas, la responsabilidad hacia los demás se amplía: en el horizonte espacial se extiende a unas condiciones globales que incluyen a la biosfera; en el horizonte temporal a incontables generaciones futuras de hombres y mujeres, lo que viene a resumirse en la existencia misma de la especie humana.

En estrecha relación con la idea de que los horizontes espacio-temporales se han extendido como resultado de los desarrollos científico-tecnológicos, en nuestros días suele compartirse la idea de que no se agotan las posibilidades de investigación e innovación porque siempre hay algo nuevo por hacer y se puede hacer. Como el proceso científico se desarrolla en interrelación con el tecnológico, para alcanzar sus propios objetivos teóricos la ciencia necesita de una tecnología cada vez más precisa y refinada. Lo que la ciencia encuentra con esta ayuda es el punto de partida de nuevos comienzos en el terreno práctico. Las prácticas tecnológicas que tienen lugar en el mundo proporcionan a la ciencia un laboratorio natural a gran escala que plantea nuevas preguntas. Así, la tecnología implica a la ciencia y ésta a la tecnología, en un proceso sin fin en el que los sujetos tienen la convicción de poder conocer y hacer lo que se propongan (Jonas 1997: 21-23). Todavía más, los sujetos creen que los resultados negativos que pudieran derivarse

de los desarrollos científicos y tecnológicos podrán resolverse con más conocimiento, más ciencia y más tecnología.

Como gran parte de las investigaciones científico-tecnológicas se realizan con ‘materiales’ vivos, la tecnología que se implementa colabora con la actividad propia de un sistema que funciona según su naturaleza. A este sistema se le inserta un nuevo elemento ajeno que será integrado o rechazado por el organismo sin que el investigador pueda ejercer algún control sobre la dinámica autónoma del ser vivo o sobre las consecuencias —en muchos casos irreversibles— que de esta intervención se deriven. En su mayor parte, pues, el ‘plan’ no es en absoluto del investigador, y una cantidad indeterminada de dicho plan le es desconocida (Jonas 1997: 111).

De acuerdo con lo expuesto, el objeto de nuestro deber y el interés porque otros no sufran se amplía a la biosfera del planeta con toda su biodiversidad. Una vez nos hacemos conscientes de la vulnerabilidad de la naturaleza y de nosotros mismos frente a las condiciones ecológicas, biológicas, físicas, sociales, políticas, económicas, culturales, éticas, entre otras, en que tendríamos que vivir como resultado de nuestra intervención científico-tecnológica en el mundo, nos reconocemos como seres que podrían padecer consecuencias adversas. En ese reconocimiento de la posibilidad de que efectivamente ese tipo de cosas puede pasarle a otros tanto como a nosotros mismos, nos disponemos a la precaución, a la prudencia, a la reserva, las que se manifiestan en la aplicación de criterios de investigación responsable.

Pero criterios de investigación responsable, ¿para quién? ¿Quiénes consideramos que comparten vulnerabilidades parecidas a las nuestras? Las personas se interesan más por evitar el dolor de quienes les son cercanos y similares, de modo que se comete el grave error de seguir criterios de investigación, por ejemplo, en la industria alimentaria y en la medicina, que se definen por el interés de que no padezcan hambre, desnutrición, pobreza, enfermedades, muertes prematuras, etc., quienes comparten un nivel de calidad de vida alto al que no todos acceden. Como sabemos, la situación es aún peor: se siguen criterios de investigación que sólo obedecen a los intereses egoístas de los grupos en el poder. Quienes integran este último grupo actúan de la manera como lo hacen porque no temen convertirse en aquéllos a quienes oprimen; ostentan una severa arrogancia y no consideran que la suerte de quienes ahora sufren podría ser la suya.

Cuentan con que siempre tendrán salud, recursos como el agua, o un clima equilibrado. Pero, como hemos dicho, la época en que vivimos se distingue por la vulnerabilidad de la naturaleza; a escala global, frente a la intervención científico-tecnológica de los hombres, ¿por qué conviene a quienes ejercen el poder injustamente interesarse en que los criterios de investigación científico-tecnológica sean responsables para con todo ser vivo del planeta? Porque siendo ellos uno de estos últimos puede esperar sentir en sí mismos, o en sus seres queridos, los efectos de, por ejemplo, el cambio climático. Las restricciones de la naturaleza no necesariamente favorecen a las clases privilegiadas.

Para que la investigación científico-tecnológica siga criterios éticamente correctos no basta con justificar las decisiones con base en conocimientos científicos o con base en el éxito de ciertas prácticas tecnológicas. Esos criterios y conocimientos deben ser guiados por la conciencia de nuestra fragilidad humana, por el ejercicio de imaginarnos lo que posiblemente todavía no comprobamos con suficiente crudeza en los hechos; prevernos a nosotros mismos y a nuestros descendientes como unos más que vivirán, por ejemplo, el precio que cobrará la segunda ley de la termodinámica. La entropía es la medida de orden, o desorden, de un sistema. Al medir la diferencia entre las entropías inicial y final de un sistema puede estimarse el incremento de desorden en el estado de este. Si consideramos a la naturaleza de nuestro planeta como el sistema en cuestión, su entropía mostrará el incremento de desorden que hay en ella a partir de medir la diferencia entre las condiciones actuales en las que hay un exceso de calor liberado, y las condiciones iniciales de la civilización en las que el calor generado no era tan significativo. Por lo general, los procesos que implican transformación de energía son irreversibles, de modo que, el grado de desorden y el grado de restricciones del sistema quebrantadas por el hombre hasta ahora, impedirán restablecer las condiciones iniciales de la naturaleza. Este ejercicio de imaginar el futuro sin pretender manipular las leyes de la termodinámica con más tecnología y sin ignorar los procesos irreversibles, puede hacer evidente nuestra soberbia y recordarnos que no somos seres autosuficientes, lo que podría disponernos a reconsiderar qué tipo de investigación debe, o no, hacerse.

BIBLIOGRAFÍA

- Aristóteles (2001), *Poética*, trad., Salvador Mas, México: Colofón.
- Aristóteles (2000), *Retórica*, trad., Quintín Racionero, Madrid: Gredos.
- Dewey, J., (1950), *Lógica. Teoría de la investigación*, México: FCE.
- Jonas, H., (1997), *Técnica, medicina y ética. Sobre la práctica del principio de responsabilidad*, trad., Carlos Fortea, Barcelona: Paidós.
- Jonas, H., (1995), *El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica*, trad. Javier Ma. Fernández Retenaga, Barcelona: Herder.
- Kitcher, P., (2001), *Science, Truth, and Democracy*, Oxford: University Press.
- Nussbaum, M.C., (2008), *Paisajes del pensamiento. La inteligencia de las emociones*, trad. Araceli Maira, Barcelona: Paidós.
- Rousseau, J.J., (1998). *Emilio*, trad., Mauro Armiño, Madrid: Alianza.

Dada la aparición de múltiples iniciativas académicas que se centran en la biología de sistemas y en la modelización matemática de procesos biológicos en la mayoría de las universidades del planeta, incluyendo las más prestigiosas, desde Stanford a Princeton, pasando por Harvard o el MIT, detenerse en hacer una apología acerca de la necesidad para la existencia de modelos teóricos parece, hoy por hoy, un simple anacronismo. La defensa a ultranza de las posiciones empíricas en la ciencia ha dejado paso a un eclecticismo que se hacía necesario desde tiempo ha, y las perspectivas teóricas, aunque sigan despertando cierto recelo en el grueso de la ciencia experimental, se ven ahora con ojos más permisivos.

¿Qué futuro posee la biología teórica? Y partiendo de ese futuro, ¿qué presente nos hace construir y qué conocimientos, por añadidura, nos propone acumular? Un poco de perspectiva histórica ayudará a reconocer a la biología teórica dentro del ámbito general de la biología y a emplazarla hacia un futuro que le requerirá (1) la formulación de modelos multiescala del desarrollo multicelular para destapar la caja negra de la relación entre genotipo y fenotipo; (2) el uso intensivo y extensivo del concepto de modularidad para comprender la dinámica evolutiva, y (3) la vuelta a las grandes preguntas, la definición del fenómeno vital dentro del marco general de las ideas matemáticas, computacionales y filosóficas acerca de la complejidad.

La necesidad para la existencia de una biología teórica parte de la idea clásica acerca del desarrollo de la ciencia, aquella que se inspira en la división canónica entre ciencias duras y blandas, conformando un continuo que va desde la más dura (la física) a la más blanda (la biología), sin contar las “ciencias humanas”, que se acomodarían más allá del polo blando 1. En mi opinión, esta división histórica, si bien totalmente verdadera para una biología del siglo XIX, es parcialmente verdadera para la del siglo XX y totalmente falsa para la biología del siglo XXI.

Los ejemplos que avalan esta idea son importantes y generalizados en todas las disciplinas de la biología. Está claro que en el siglo XIX, la biología no había madurado como ciencia, todavía luchando por asimilar los tres pilares que sustentan su edificio moderno: la teoría de la evolución, las leyes de la herencia y la teoría celular. Sin embargo, a principios del siglo XX, las generalizaciones formales y matemáticas se suceden. En biología de poblaciones, el modelo logístico de la relación entre depredador y presa de Volterra-Lotka; en genética de poblaciones, la ley de Hardy-Weinberg y el trabajo de R.A. Fisher, J.B.S. Haldane y S. Wright y el trabajo más reciente de M. Kimura; en bioquímica, el modelo empírico, derivado de la ley de acción de

⁵ Rasskin-Gutman D. 2008. Nuevos horizontes de la biología teórica. Revista Ludus Vitalis, UNAM. vol. XVI, num. 30, pp. 229-232.

masas, de la dinámica de Michaelis-Menten, base de toda modelización de reacciones enzimáticas y, por supuesto, el modelo de la estructura tridimensional del ADN de J. Watson y F. Crick; en morfología, la tradición biofísica de D.A.W. Thompson, quien puso los cimientos para el análisis matemático de los patrones de cambio en tamaño y forma (la alometría de J. Huxley), de la teoría de morfoespacios (Rasskin-Gutman & Izpisúa-Belmonte 2004) y de la morfometría geométrica 2. A pesar de estos logros, la biología teórica ha permanecido secuestrada por la rama dura del empirismo, que en su momento decidió ignorarla sistemáticamente. A finales del siglo pasado, esta actitud tan negativa comienza a cambiar gracias al advenimiento de la denominada “biología de sistemas”, una disciplina pluridisciplinar que nace al calor de la biocomputación y que redescubre, tal como ocurriera en el mundo de la genética con las leyes de Mendel, el trabajo de pioneros de la biología teórica como N. Rashevsky y K.L. von Bertalanffy. En mi opinión, lo que ha mantenido a la biología fuera de las ciencias duras no es la falta de modelos, sino la falta de una perspectiva teórica por parte de las corrientes dominantes del panorama biológico, celosas de todo conocimiento que no partiera directamente de los datos experimentales.

En este sentido, es fácil comprender por qué se aceptó rápidamente el modelo de Watson y Crick y, en nuestros días, cómo se abraza casi sin ningún tipo de recelo las propuestas de la biología de sistemas. Por un lado, el modelo del ADN partía de unos datos empíricos claros; las leyes de proporciones de bases y las imágenes cristalográficas otorgaron suficientes evidencias para proponer un modelo estructural capaz de explicar el mecanismo de la replicación de manera muy elegante. Por otro lado, la biología de sistemas, en especial la biocomputación y la bioinformática se apoyan en la ingente cantidad de datos derivados de la genómica, la proteómica o la metabolómica. La novedad no reside en el tipo de datos, sino en su producción en masa, que hace necesarias técnicas estadísticas para tratarlos correctamente. La biología experimental da por buenas las técnicas y modelos teóricos de la biología de sistemas sin demasiada resistencia, ya que responden directamente a las necesidades planteadas por las nuevas técnicas de adquisición de datos.

Sin embargo, la biología de sistemas posee, en general, una visión ampliamente reduccionista de la biología, con modelos bottom-up de dinámicas moleculares, y escaso interés por la integración de escalas en la jerarquía biológica, abundando en un modo de proceder data-driven 3. Un tipo de propuesta, más integradora, procede de la tradición iniciada por C.H. Waddington, editor del celebrado *Towards a Theoretical Biology*, que sentó las bases para un tipo de investigación (y de actitud ante la biología) que prosperó fundamentalmente entre físicos y matemáticos con interés en analizar problemas biológicos. Ni siquiera la influencia de Francis Crick fue capaz de generar más interés en las corrientes mayoritarias de la biología, que siempre ha considerado sus “inclinaciones” teóricas más bien una excentricidad antes que una vía legítima de estudio 4. Por su parte, iniciativas como las del Instituto Santa Fe, que dan salida a investigaciones como las de S. Kauffman o B.C. Goodwin (y arropadas por personajes de la talla del físico Murray Gell-Man), han creado mundos aislados en donde se analizan ideas acerca

de la complejidad de los procesos biológicos, sin lograr hacer la necesaria conexión con las corrientes fundamentales de la biología experimental.

¿Dónde estamos y adónde deberíamos dirigirnos en estos momentos? Es necesario reabastecer a la biología de formalismos y modelos capaces de aglutinar el conocimiento de una manera eficaz y global. Para ello creo que hay tres puntos importantes: (1) Análisis multiescala de la traslación de la información genética a la morfología, abriendo la caja negra del desarrollo en todos los niveles de organización, en donde la dinámica de expresión génica se correlacione con otros eventos moleculares y éstos, a su vez, con dinámicas celulares morfogenéticas, así como la regulación epigenética de todo el proceso (incluyendo la escala ecológica). En definitiva, los modelos multiescala deberán llevarse a cabo atendiendo no sólo a la correlación de la regulación y la expresión génica con la aparición de un fenotipo, sino también a todo el proceso morfogenético, integrando la biología molecular con la morfología sin detenerse en el individuo y aceptando que el ambiente también juega un papel fundamental durante el desarrollo.

Esta tarea debe hacerse aunando los esfuerzos de la biología de sistemas con las propuestas no reduccionistas de la evo-devo. (2) Será necesario atender al fenómeno de la modularidad de procesos y de estructuras para arrojar luz acerca de la dinámica evolutiva, en especial en lo que se refiere a las tendencias macroevolutivas, más allá de la dinámica de poblaciones. Para ello tendrán que generarse nuevas vías de integración entre la sistemática, la morfometría, la propia biología de poblaciones y la paleontología. (3) Finalmente, habrá que volver a las preguntas fundamentales como objetivo que claramente podrá incidir en una idea de futuro, en donde las múltiples escalas en las que se manifiesta la organización biológica puedan integrarse. Un buen ejemplo es la propia definición de “lo vivo”, que engloba el origen de la vida y la posibilidad de generar vida sintética. Esta línea de investigación teórica tendrá que hacerse atendiendo a las diferentes escalas de organización y en lo referente a la posibilidad de la existencia de fenómenos vitales en otros planetas, así como la generación de vida sintética, in vitro, in silico, y mediante la implementación de estos conceptos por medio de la robótica. La idea de complejidad de los sistemas biológicos debería abarcar toda investigación teórica para la reformulación de los procesos fundamentales de la dinámica de lo vivo, desde el desarrollo (a través del concepto de autorganización), pasando por la dinámica de ecosistemas (apoyado en el concepto de estabilidad estructural), hasta la dinámica evolutiva (empleando estructuras de estudio basadas en la generación de morfoespacios teóricos). Se deberá incidir, aún más, en la necesidad de adoptar un modelo causal que complemente al reduccionista, incluyendo y especificando la influencia que tienen los niveles superiores de la jerarquía biológica sobre los inferiores, permitiendo, a su vez, analizar la influencia mutua entre las dos corrientes causales. No se trata de nuevas teorías, sino de teorías integradoras. Esa es la razón de ser y el objetivo fundamental de la biología teórica.

NOTAS

1 Esta distinción procede mayormente de una visión kantiana del conocimiento, por la cual, una ciencia “verdadera” está definida por su grado de matematización (Fox Keller, p. 81).

2 Contra Fox-Keller (op. cit.) la herencia de D’Arcy W. Thompson se ha establecido y ha dado numerosos frutos, en especial en lo que se ha dado en llamar “morfometría geométrica”, una fusión entre la biometría, la estadística y la idea de Thompson de la transformación de coordenadas. La lista de autores que han contribuido a este desarrollo es muy grande, pero sin duda las aportaciones que han prevalecido han sido las de Fred Bookstein y James Rohlf.

3 En este sentido, Denis Noble ha abundado en la necesidad de introducir estrategias “top-down” en la biología de sistemas (Noble, 2006).

4 Hay que señalar que la investigación de F. Crick sobre la teoría de morfógenos ha sido una de las líneas más analizadas por parte de la biología teórica y también ha sido tomada seriamente por la biología experimental.

REFERENCIAS

Fox-Keller E. (2002), *Making Sense of Life: Explaining Biological Development with Models, Metaphors, and Machines*. Harvard University Press, Cambridge.

Noble D. (2007), *The Music of Life. Biology Beyond the Genome*. Oxford University Press, Oxford.

Rasskin-Gutman D, Izpisúa-Belmonte J.C. (2004), “Theoretical morphology of developmental asymmetries,” *Bioessays* 26(4):405-12.

Resumen

Este trabajo aborda las particularidades epistemológicas de la biología identificadas en los aportes de autores como Mayr (1998), Coleman (2002), Jacob (1970) y Piaget (1979), y a partir de estas se sugieren algunas ideas para el abordaje de la enseñanza de la biología.

Palabras claves: epistemología, biología, enseñanza de la biología

INTRODUCCIÓN

Este trabajo aporta a la formación de maestros en Educación Básica énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad del Valle, en lo relacionado a la enseñanza de la biología, introduciendo en algunos de los cursos del programa, los referentes epistemológicos de esta disciplina científica. Con este se da continuidad a la investigación “Elementos epistemológicos de la biología como referentes para su enseñanza”, que se realizó en la Maestría en Educación, en la universidad en mención.

PROBLEMA

Hace parte de las discusiones filosóficas acerca de la biología la cuestión sobre si la biología es o no una ciencia como la física o la química (Ruse 1979; Mayr 1998 y 2006; Jiménez 2003). Esta puede atribuirse principalmente a lo que según Ruse (1979) es todavía la postura filosófica dominante sobre las teorías de la física y la química: el empirismo lógico. Ruse no niega que esta postura también puede presentarse en las ciencias biológicas, pero, para Mayr (1998) basar la filosofía de la biología exclusivamente en la filosofía de las ciencias físicas clásicas no es conveniente ya que estas “estaban dominadas por un conjunto de ideas inadecuadas para el estudio de los organismos” (Mayr 1998, p.13).

Las características de los organismos vivos empiezan a sugerir la necesidad de abordar la biología con una mirada que creara ruptura con respecto a la física clásica, la cual diera cabida al indeterminismo, a la probabilidad, al pluralismo. De ahí que Mayr (1998) considera para la biología unas formas particulares para construir algunas explicaciones sobre los organismos vivos: 1) el experimento natural (entendido este como los fenómenos observables directamente en el momento de su ocurrencia); 2) el uso de las teorías para resolver problemas, más que para hacer predicciones; 3) sus predicciones suelen ser probabilísticas; 4) el planteamiento de narraciones históricas, en contraposición a las explicaciones causa-efecto; 5) el reconocimiento del azar; 6) casi siempre es posible señalar una causación próxima y una causación remota como

⁶ Rengifo G. L. A. (2009) Aportes de la epistemología de la biología para la enseñanza de la biología. Asociación Colombiana para la investigación en Ciencias Y Tecnología EDUCyT. Memorias, I congreso Nacional de investigación en educación en ciencias y tecnología.

explicación de un fenómeno biológico; 7) cuando se considera un problema biológico se suele poder encontrar más de una explicación causal (pluralismo).

Así, Jiménez (2003) menciona que “la biología comparte con otras ciencias el hecho de plantear preguntas sobre el mundo natural y tratar de elegir la respuesta más adecuada entre varias posibles, teniendo en cuenta los datos disponibles. Pero esta elección y búsqueda de datos cuenta con aspectos metodológicos particulares que hay que tener en cuenta” (Jiménez 2003, p. Esto le da a las diversas áreas del conocimiento un “estatuto epistemológico” diferente porque sus objetos de estudio y preguntas son particulares (Escobedo 1995).

Se reconoce con todo lo anterior, una naturaleza epistemológica particular de la biología; dado el interés que aquí se tiene por la enseñanza, esto lleva a preguntar ¿Cómo puede abordarse la enseñanza de la biología reconociendo sus particularidades epistemológicas?

ANTECEDENTES

Autores como Zambrano (2000, 2003 y 2005), Jiménez (1996 y 2003), Niño y Sepulveda (2004), Duschl, R. (1997), Rengifo (2008) han reconocido aportes de la epistemología de la biología o de algunos de sus conceptos para la enseñanza. En términos generales se pueden reconocer como consideraciones de estos, la posibilidad que ofrece la epistemología en la identificación de: 1) las grandes preguntas de la biología (o de algunas preguntas de ella); 2) las distintas respuestas que se han dado a las preguntas; 3) los objetivos con los que se comprometieron los científicos; 4) los métodos utilizados por los científicos; 5) los objetos de controversia históricas durante el desarrollo de la biología; 6) algunas posturas filosóficas influyentes en las respuestas a las preguntas. Los autores reconocen que estas deberán tenerse en cuenta en el diseño de las actividades de enseñanza.

MARCO DE REFERENCIA

El referente conceptual sobre el que se orienta este trabajo es la epistemología como uno de los criterios para el abordaje de la enseñanza¹; se ha venido identificando (Adúriz, A. 2005; Mosquera 2005; Jiménez, M. 2003; Zambrano 2000) que esta ofrece elementos para decidir de manera consciente y fundamentada que actividades realizar en la enseñanza.

Según Pérez (1992), Adúriz (2005), y Zambrano (2008) desde la epistemología se plantean preguntas entre las que se encuentran: ¿En qué consiste el conocimiento científico? ¿De qué manera se relaciona el sujeto con el objeto de que se conoce? ¿Cómo ocurre la validación del conocimiento científico? ¿En qué contextos se produce y se valida el conocimiento? ¿Cómo se reconoce que los aportes de la epistemología solos no son suficientes incrementan los conocimientos? ¿Qué normas y valores guían las ciencias? ¿Cómo se produce el conocimiento científico? estas pueden tener respuestas diferentes de acuerdo desde los autores donde se aborden. Sin embargo, estas deben de ser resueltas por los docentes creando unas posiciones conceptuales al respecto.

METODOLOGÍA

Bajo el enfoque metodológico cualitativo de un estudio de casos interpretativo (Latorre 1996), se cuestionaron algunos documentos sobre biología de los autores Mayr (1998), Coleman (2002), Jacob (1970) y J. Piaget (1979), con relación a ¿cómo se produce el conocimiento biológico? La información obtenida se referencia a continuación.

RESULTADOS

Se encuentra que la producción del conocimiento biológico se da partiendo de problemas comunes a ciertos grupos que tienen unos propósitos, a estos se le proponen explicaciones marcadas por unas posturas filosóficas sobre el mundo y los organismos vivos, estas explicaciones pueden surgir y/o buscar comprobación a través de unos procedimientos metodológicos que dependen de las características del objeto de interés. La información referente a los problemas y procedimientos en la producción del conocimiento biológico, se sintetiza en la tabla 1.

Esto sugiere que en la enseñanza de la biología, los diferentes intereses de estudio sobre el organismo vivo, se aborden haciendo conciencia de las características metodológicas propias a cada campo, lo cual facilitará entender por qué unas estrategias de enseñanza podrán resultar más adecuadas; así por ejemplo, la enseñanza de los procesos fisiológicos podrá proponer trabajos (posiblemente de simulaciones) donde se controlen variables para estudiar el comportamiento de un organismo a ciertas condiciones (de luz, salinidad, u otra); por otra parte, para la enseñanza de la evolución, relacionada al origen de las variedades de organismos, se deberán utilizar los datos históricos que reconocen como es un organismo hoy, que lugares ocupa, cómo era años atrás y donde habitaba; en cuanto a la enseñanza de la herencia se recomendará estudiar la transmisión de las características de los organismos analizándolos con sus parientes en el marco de las poblaciones. Así cada problema de estudio sobre el organismo requiere de una enseñanza que le reconozca su particularidad.

CONCLUSIÓN

Con base en estos resultados se hace el llamado para que los docentes tengan en cuenta las particularidades epistemológicas de la biología al diseñar y abordar las actividades para la enseñanza de la variedad de conocimiento biológico, reconociendo que las problemáticas desde donde se ha partido para la construcción del conocimiento han tenido un tratamiento metodológico particular que corresponde con la naturaleza de lo que se ha querido investigar del organismo vivo.

PROBLEMAS GENERALES	PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS
¿Qué clasificación se puede dar a los organismos vivos?	Observación, descripción y comparación de los organismos. Creación de criterios para agrupar los organismos
¿Cómo está constituido el organismo vivo?	Uso del microscopio y técnicas asociadas a su manejo
¿Cómo se forma y desarrolla un organismo vivo?	Observación y seguimiento del desarrollo de los organismos, principalmente a través de huevos
¿Por qué un organismo vivo se parece con sus padres?	Estudio de poblaciones y manejo de probabilidades estadísticas
¿Cómo explicar los complejos procesos fisiológicos de los seres vivos?	Trabajo "experimental" de control de variables
¿Cómo se originan las variedades de organismos?	Recolección de datos históricos
¿En qué consisten las interacciones entre los organismos y su ambiente?	Observación, descripción y comparación de los organismos en su ambiente; manejo de algunas variables
¿Qué determina la forma de los seres vivos, sus propiedades y funcionamiento?	Trabajo "experimental" en el que se buscan conocer las sustancias

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz, A. (2005) Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. Fondo de cultura económica.
- Coleman, W. (2002) La biología en el siglo XIX: problemas de forma, función y transformación. México: Fondo de cultura económica.
- Duit, R. (2006). La investigación sobre enseñanza de las ciencias. Un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. Revista Mexicana de investigación educativa Vol. 11, No 30, julio-septiembre.
- Duschl, R. (1997) Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo. Madrid: Narcea.
- Escobedo, H. (1995) Pensando en la formación de los docentes del tercer milenio. Revista actualidad educativa, Bogotá. Enero-Febrero.
- Jacob, F. (1986) La lógica de lo viviente. Barcelona: Biblioteca científica Salvat.
- Jimenez, M. (1996). La variabilidad en la descendencia: comparación de teorías explicativas. En: Alambique Num. 008, abril, mayo, junio.
- Jiménez, M., Caamaño, A., Pedrinaci, E., De Pro, A. (2003) La construcción del conocimiento científico y los contenidos de ciencias. Enseñar Ciencias. Barcelona: Editorial Grao.
- Mayr, E. (1998) Así es la biología. Madrid: Editorial Debate.
- Mayr, E. (2006) Por qué e única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica. Buenos Aires: Kats Editores.
- Mosquera, C. (2005) El papel de la historia y la epistemología de la ciencia en la didáctica contemporánea de las ciencias. En: Tendencias del pensamiento educativo científico. Simposio Internacional sobre Enseñanza de las Ciencias. Cátedra Institucional Héctor Gómez Lora

- Niño, C. y Sepulveda, C. (2004) ¿Los profesores de ciencias pueden evitar el fisicalismo? EN: Cuadernos de investigación. No. 4 Enfoques culturales en la educación en ciencias: caso de la evolución de la vida. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Pérez, C. (1992). ¿Qué puede ser la epistemología? Texto de ponencia de Jornada Académica en el Departamento de Psicología de la Universidad de Chile.
- Piaget, J. (1979) Introducción a la epistemología genética. El pensamiento biológico, psicológico y sociológico. Buenos Aires: Paidós.
- Rengifo, L. (2008) Elementos epistemológicos de la biología como referentes para su enseñanza. Trabajo de investigación de maestría en educación énfasis en enseñanza de las ciencias naturales. Universidad del Valle. Cali – Colombia.
- Ruse, M. (1979) La filosofía de la biología. Madrid: Alianza editorial.
- Zambrano, A. (2000) Relación entre el conocimiento del estudiante y el conocimiento del maestro en las ciencias experimentales. Universidad del Valle.
- Zambrano, A. (2003) Cuestiones históricas y epistemológicas en torno a la enseñanza de las ciencias. En: Formación del pensamiento científico. Catedra ICFES Agustín Nieto Caballero.
- Zambrano, A. (2005) Documento El Programa de Tecnología en Acuicultura. Material inédito.
- Zambrano, A. (2008) Material sobre la Filosofía y Epistemología de la Ciencia, para el Doctorado Interinstitucional en Educación UPN-UD-UV.

¿Tú qué tipo de biólogo quieres ser?

Autor⁷

Vivimos tiempos difíciles en la enseñanza de las ciencias, especialmente en las ciencias biológicas en el país. No solo tenemos que enfrentar el marcado desinterés del gobierno hacia el desarrollo de cualquier disciplina científica, la inadecuada percepción que la sociedad tiene del científico y el escaso campo de acción que se puede ofrecer a los egresados de las carreras científicas, sino que, hablando específicamente de la formación de biólogos y profesionales afines, existen además diversos problemas que contribuyen a dificultar la tarea de preparar al futuro egresado para enfrentarse con probabilidad de éxito al mundo real. Esta reflexión no es nueva, surge constantemente cada vez que se habla de modificar el plan de estudios de la carrera de biología o de reorientar los objetivos en la enseñanza de esta profesión, y no es exclusiva de algún centro de enseñanza en particular. De manera personal, esta cavilación surge tras varios años de docencia en la carrera de biología tanto en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México como en la Escuela de Ciencias de la Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, en donde, además, participé en una comisión encargada de revisar y actualizar el plan de estudios vigente con el propósito de modificarlo en un mediano plazo.

Ambas instituciones son como las caras opuestas de una moneda en diversos aspectos: recursos disponibles, infraestructura y número de estudiantes atendidos, entre otros, procurando cada una, en sus propias circunstancias, cumplir con lo que parece el objetivo común: formar y preparar a los futuros profesionales en biología. A pesar de no conocer con precisión la situación en que se encuentran los diversos centros de enseñanza de biología del país, es posible suponer que se encuentran en una situación intermedia.

Desde una perspectiva empírica y personal, el objetivo de preparar profesionales en biología se cumple solo parcialmente la razón por la que frecuentemente sabemos de egresados que laboran en cosas ajenas al área. Indudablemente, las condiciones del país contribuyen a que pocos profesionales tengan reales posibilidades de desarrollar exitosamente su profesión; sin embargo, particularmente en la enseñanza de las ciencias biológicas, a los docentes nos falta interesarnos en conocer las perspectivas que de sí mismos tienen los estudiantes, tanto en el momento en que lo son, como con respecto a su futuro, y ligar esto con sus posibilidades de desarrollo profesional. Hacerlo parece complicado, pero ofrece la oportunidad de ampliar nuestra propia perspectiva como docentes y posibilita ofrecer un mejor servicio, que al final de cuentas es la razón principal por la que estamos contratados.

⁷ Aguilar A. (2015) ¿Tú que tipo de biólogo quieres ser? Revista Ciencias. UNAM. núm. 115-116, enero-junio, pp. 84-92.

Pero, ¿qué importancia tiene conocer qué espera de sí mismo cada estudiante?, sobre todo considerando que el docente tiene que cumplir con su programa (“este es parejo para todos y el que se adaptó se adaptó y el que no, pues no”). Bueno, esto es básicamente cierto pero, por un lado, significa ignorar la diversidad de ideas que al fin de cuentas es el fundamento de una universidad y, por el otro, es casi como hacer trampa jugando con dados cargados. Me explico: me formé como biólogo en la Facultad de Ciencias de la UNAM, y en la mayor parte de los casos me encontré con profesores que podría calificar de buenos o excelentes, algunos de los cuales siguen impartiendo clases y ahora son mis compañeros, al igual que aquellos que, como yo, se han ido incorporando a la actividad docente de la Facultad, dando forma a su numerosa plantilla académica. Ahora bien, si analizamos esta plantilla podremos observar que está constituida básicamente por personal académico de la Facultad y por profesores de asignatura. Los primeros son los profesores titulares y técnicos académicos que, a la par de sus actividades docentes, desarrollan sus propias líneas de investigación, en tanto que los segundos son aquellos profesores que sólo imparten una o dos clases por semestre, sin que desarrollen oficialmente labores de investigación. A pesar de esto, la mayor parte de los profesores de asignatura que actualmente laboran en la Facultad están asociados al personal académico de la misma por medio de proyectos, en tanto que otra parte importante son estudiantes de posgrado que, como complemento a sus actividades, son aceptados para impartir cátedras en la carrera de biología, siendo escasos aquellos profesores que en realidad son externos y relativamente ajenos a la vida académica de la institución. Dado que el mejor método de enseñanza es el de predicar con el ejemplo, se puede inferir que en la Facultad de Ciencias existe una marcada tendencia a presentar al estudiante un panorama dominado por actividades de investigación. Se le pre- para con artículos de especialidad, algunos de ellos escritos por sus propios profesores, bombardeado constantemente por ejemplos que son resultado del trabajo desarrollado en tal o cuál laboratorio y forzados por las características del plan de estudios a ingresar a un taller que, por lo general, es coordina- do por un grupo de trabajo de la propia facultad o de otro centro de investigación, en donde comúnmente el estudiante realiza su servicio social y elige su proyecto de egreso y titulación. Por si fuera poco, a lo largo de todo este proceso se le reitera al estudiante la “necesidad” de hacer una maestría, de continuar con un doctorado, y un posdoctorado... o dos... En contraparte, en una institución como la Escuela de Ciencias de la Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, las actividades de investigación son muy limitadas, el personal de tiempo completo es escaso y buena parte del personal académico labora por horas, teniendo otra actividad principal que generalmente no corresponde con actividades de investigación, pero que no por ello se aleja del trabajo de un biólogo. Estas actividades, alejadas de la investigación, constituyen los ejemplos cotidianos en los que el estudiante basa su aprendizaje en aula y se complementa con el empleo de recursos como libros, informes técnicos y, sobre todo, el contacto con el entorno social, que es un complemento de gran importancia en la formación de estos biólogos y, en buena parte, equilibra su escasa preparación para actividades de investigación. A diferencia de los estudiantes de la Facultad de Ciencias, una buena parte de los de la Escuela de Ciencias no tiene contemplado realizar un posgrado o lo conciben como algo lejano a su entorno, sin que ello demerite su apreciación personal como biólogos.

Como podemos ver, se trata de dos instituciones de educación superior con un objetivo común pero con circunstancias distintas. ¿Cuál tiene la razón? Espero que a estas alturas ya podamos vislumbrar que ninguna; pues no se trata sólo de que resulte erróneo el tratar de encaminar a todos los estudiantes a posgrados e investigación o pretender formar biólogos desligados de estas actividades (que tácitamente representaría la “estrategia” de cada institución). No, a mi parecer, el principal error que cometemos como docentes es prejuizar y asumir que tenemos derecho a decidir qué tipo de orientación debe de recibir el estudiante aun antes de que éste se inscriba. Es como si a cada nueva generación le dijésemos: “ustedes, alumnos de la Facultad de Ciencias, estudiarán y se prepararán tomando como modelo a sus profesores, por lo tanto, los que destaquen se integrarán a un laboratorio, egresarán y estudiarán un posgrado, para que en un futuro se dediquen a la investigación, así y sólo así habrán hecho algo útil de su vida”; o bien: “ustedes, alumnos de la Escuela de Ciencias de la Universidad Autónoma “Benito Juárez”, estudiarán, se prepararán, y tal como lo hace la mayor parte de sus profesores, entenderán y crearán conciencia de su entorno próximo para resolver los problemas que atañen a su región, y quien lo consiga habrá hecho algo provechoso, pues otras cosas están tan lejanas que no vale la pena pensar en ellas”.

Debemos recordar que, como docentes, tenemos el compromiso de preparar al estudiante y orientarlo de acuerdo con su perspectiva y objetivos, y no en función de los nuestros. Estoy de acuerdo en que la mayor parte de nuestras acciones y decisiones se basan en nuestra experiencia y que podríamos pisar suelo poco firme si pretendiéramos basar nuestras clases y ejemplos en circunstancias alejadas de nuestra experiencia. No, no se trata de eso, la propuesta es mucho más simple; consiste solamente en nunca perder de vista que existen muchos tipos de biólogo, que todos ellos hacen una labor importante y que cada uno, en su propio ámbito, puede ser una autoridad. Si tenemos presente esto, sobre todo en nuestra actividad docente, y lo transmitimos frecuentemente al estudiante, podremos hacerlo reflexionar sobre su condición presente y, con suerte, intuir positivamente en sus decisiones futuras.

Se trata, pues, de reiterar la noción de que existen muchos tipos de biólogo. Las actividades relacionadas con las ciencias biológicas son tantas y tan diversas que resulta complicado buscar límites precisos, pero como el objetivo es orientar al estudiante, tras años de conversar con un numeroso grupo de colegas, alumnos y exalumnos, he construido una clasificación personal que establece cuatro categorías que incluyen las posibles actividades principales de un biólogo: biólogo investigador, biólogo burócrata, biólogo empresario y biólogo social. Como toda propuesta, es debatible y sujeta a perfeccionamiento, pero considero que sirve como base para presentarle al estudiante un panorama general.

Biólogo investigador

Es aquel que se ha visualizado haciendo investigación como parte del personal académico de alguna institución nacional o en el extranjero, probablemente formando parte de un laboratorio, asistiendo a congresos, redactando informes y artículos o dirigiendo tesis. En tanto que actividad

principal, la investigación es tan buena como las demás que se describirán posteriormente, sin embargo, el estudiante que elige este camino debe entender (o el docente le tiene que señalar) que recorrerlo es arduo y tardado. Dado que el objetivo es hacer investigación, el alumno tiene que demostrar que es capaz de enfrentar un proyecto mediante la elaboración de una tesis. Desde un punto de vista personal, ésta es la opción más congruente para el objetivo que se pretende alcanzar y, por tanto, la vía más adecuada para acercar al estudiante a la investigación; al elegir otra opción de titulación (dependiendo de la institución pueden o no existir), el estudiante debe saber que está renunciando a la experiencia que le puede dar desarrollar un proyecto desde el inicio hasta el final.

Esto indudablemente se debe ligar con una de las desventajas de elegir la investigación como actividad principal, y que consiste en la necesidad de realizar estudios de posgrado. Dadas las condiciones actuales, a un biólogo le puede resultar muy complicado (en realidad prácticamente imposible) ingresar como profesor investigador en alguna institución superior poseyendo sólo el grado; para cumplir con su expectativa tiene que hacer por lo menos estudios de maestría, y esto ya no es suficiente en la mayor parte de las instituciones, el aspirante necesita haber realizado un doctorado y, de ser posible, alguna estancia posdoctoral.

Tal realidad no se le debe ocultar al estudiante ya que intuye en muchos aspectos de su vida. Por una parte, se trata de una actividad apasionante, pero por otra, puede limitarle social y económicamente, ya que a diferencia de lo que ocurre con otro tipo de profesionales como contadores, ingenieros, abogados y otros, quienes concluyen su formación en cuatro años y se integran a la vida productiva, la formación de un investigador no concluye con sus cuatro años de carrera, sino que hay que agregar dos de maestría y tres de doctorado, por lo que la formación concluye en por lo menos nueve años, a los que se le pueden agregar tres, uno por cada tesis (“un año en lo que termino la tesis”), y uno o dos de estancia posdoctoral, para que ya, ahora sí, el aspirante se encuentre listo para integrarse a la vida laboral tras un proceso de unos ¡doce o catorce años!, durante los cuales, socialmente hablando, se le considera como estudiante. A estas alturas el tipo de profesionales mencionados renglones arriba ya generaron casi una década de antigüedad, cuentan con buenos sueldos, diversos bienes materiales y probablemente su solvencia hizo que la “morra” de la cuadra lo hubiese preferido desde hace ya varios años antes, en tanto que el susodicho ha vivido del apoyo familiar, de las fluctuantes becas, de integrarse a algún proyecto de su tutor o algo así. No obstante, cuando la expectativa se cumple, el biólogo investigador tiene la oportunidad de revertir todos los contratiempos que supuso su preparación y de pasar a integrarse a una parte un tanto incomprensible pero muy respetada de la sociedad.

Biólogo burócrata

Es aquel que ha decidido llevar a cabo su actividad profesional en el servicio público. Probablemente se habrá visualizado como responsable de sección en alguna dependencia gubernamental —SEMARNAT, SAGARPA, INECC, CONABIO-, etcétera, asistiendo a congresos y tomando decisiones sobre el uso y aprovechamiento de los recursos naturales. Por

el tipo de actividad a desarrollar, el grado de biólogo es suficiente para acceder a este ámbito, y dado que los puestos vacantes en esas dependencias son por lo general limitados, realizar estudios de maestría y doctorado puede resultar inútil e incluso convertirse en un obstáculo si no están bien dirigidos. Me refiero a que si el estudiante efectúa una típica maestría en donde se realiza una investigación “formal”, es probable que ésta se vincule muy poco con lo que va a ser la verdadera función del biólogo burócrata, pero si en vez de esto el estudiante elige hacer una maestría en, supongamos, gestión ambiental, derecho ambiental o desarrollo sustentable (especialidades sorprendentemente ausentes en diversos programas de posgrado con orientación científica) es más probable que le sea de utilidad y que incluso le dé ventajas para competir por un puesto de los llamados “de decisión”.

Hablando en términos económicos, por lo general el biólogo burócrata vive relativamente tranquilo al contar con sueldo y prestaciones promedio entre los servidores públicos del país. Como puede suponerse, el “hacer dinero” depende del puesto y la dependencia a la que el biólogo esté adscrito, pero eso sí, una vez “de planta”, el cheque no falta y es posible ascender e incluso, tal vez, percibir ingresos extra.

BIÓLOGO EMPRESARIO

Es aquel cuyo deseo es tomar las riendas de su vida lo antes posible para “hacer dinero” rápido. Es quizá el biólogo más materialista y por eso no cree en sacrificios personales en aras del “bien de la ciencia”. Probablemente se ha visto estableciendo su propia agencia de impacto ambiental o produciendo cultivos hidropónicos, plantas de ornato o algo similar. Si no cuenta con capital para esto, se encuentra dispuesto a trabajar en ese tipo de actividades para acumular recursos y posteriormente independizarse. A los estudiantes que han proyectado de esta manera su vida se les debe hacer ver que una tesis puede resultar un ejercicio inútil, por lo que, si existiera un modo de titulación más ágil, probablemente sería lo que más les convenga, ya que entre más pronto se establezca su oferta en el mercado, más posibilidades de éxito pueden tener. Esto da la ventaja de ingresar al mundo productivo de inmediato, sin imposibilitar el realizar estudios de posgrado, pero ¡cuidado!, al igual que en el caso anterior, los estudios de posgrado mal orientados pueden resultar poco útiles; si hay que elegir alguna maestría, ésta debería ser en administración empresarial o algo similar. Se debe considerar que, en esta realidad tan competitiva, el éxito va a depender de su habilidad más como empresario que como biólogo.

BIÓLOGO SOCIAL

Es aquel cuya perspectiva es regresar o integrarse a una comunidad para realizar actividades que promuevan su desarrollo. Por lo general, conoce las necesidades particulares de ciertos sectores de la población y pretende contribuir con su esfuerzo para realizar levantamientos territoriales, delimitaciones e inventarios de plantas y animales entre predios, proyectos de desarrollo sustentable o propuestas para actividades que le permitan a la comunidad participar en diversos programas como el de pago por servicios ambientales.

Por las características de su labor, se trata de biólogos muy dispuestos a escuchar y valorar el conocimiento biológico “no formal” de la población, así como de involucrarse fácilmente en el ámbito de la gestión de los asuntos sociales de la comunidad, lo que los convierte en integrantes muy respetados de la misma.

De acuerdo con la problemática que este tipo de biólogo decida enfrentar está la pertinencia de hacer una maestría; de nuevo la elección de alguna en gestión ambiental o desarrollo sustentable potenciaría las posibilidades de realizar eficientemente la labor cotidiana, sin embargo, esto no siempre es un requisito para llevar a cabo satisfactoriamente el trabajo.

Aquí me gustaría incluir un subtipo de biólogo, que originalmente parecería constituir una quinta categoría, pero que por su motivación coincide mucho con el biólogo social, se trata del biólogo docente, aquel que desde el inicio se visualizó como profesor del área de biología en alguna escuela del país, independientemente de su nivel. Por ser su principal nidad preparase como biólogo para impartir clases, necesariamente se tiene que separar de aquellos que son profesores de manera más bien incidental, es decir, los que pre eren la investigación, pero que dan clases porque les obliga su contrato, o los que lo hacen porque así lo contempla su plan de estudios de posgrado o los que están ahí porque simplemente no les quedó de otra. El espíritu de servicio que hay detrás de su decisión lo hace también un biólogo social y por eso, al final, está incluido en tal categoría. Aparentemente, al biólogo docente le basta con sus estudios para poder comenzar con su labor y, dado que existen pocos programas de posgrado destinados a profesionalizar docentes en el área de biología (entre algunos otros, en la UNAM existe la Maestría en Docencia en Educación Media Superior), sobre todo si se trata de niveles básicos de educación resulta poco recomendable sugerir a este tipo de biólogo iniciar una maestría. En todo caso, puede resultarle más útil asistir a cursos de formación como docente o si ya cuenta con suficiente experiencia, a cursos de aplicación de estrategias pedagógicas.

Entonces...

Como se observa, el trabajo del biólogo puede tener motivaciones y orientaciones diversas que influyen en la elección de alguna actividad principal en particular. La preparación requerida para dicha actividad, por lo general, implica una serie tan compleja de contratiempos y dificultades, que a un profano podría sorprenderle la necesidad de preparase para algo tan aparentemente desalentador. Sin embargo, el biólogo, independientemente de su orientación, sabe que esto es relativo, ya que las experiencias que acumula durante su ardua formación y su trayectoria profesional son tantas y tan enriquecedoras, que a la mayor parte de la gente puede costarle trabajo creer que se puede vivir tanto en una sola vida.

Para los docentes en la carrera de biología resulta necesario y casi una obligación presentar al estudiante un panorama amplio (ya sea basado en lo descrito en este texto o en cualquier otra construcción personal o consensuada) sobre las perspectivas que puede tener una vez que concluya sus estudios, ya que es nuestra responsabilidad descubrir, fomentar y potenciar las

aptitudes de cada uno a n de ayudarlo a integrarse exitosamente a la labor profesional en el campo en que él mismo decida. Por eso, al momento de impartir clase, de discutir las modificaciones al programa de tal o cual materia, o al diseñar un nuevo plan de estudios para la carrera de biología, se debe de tener presente que lo que está en juego no es qué tipo de biólogo queremos formar, sino el proporcionar un andamiaje adecuado para que el futuro profesional, independientemente del tipo de biólogo que elija ser, cuente con bases firmes y perspectivas amplias.

Claro que esto representa un sacrificio. Es probable que de cuando en cuando detectemos a un estudiante cuyo potencial sea tal que estemos seriamente tentados a convencerlo, casi por cualquier medio, de formar parte de nuestro laboratorio. Sin embargo, debemos tener en cuenta que dicho estudiante solo va a desarrollar por completo su potencial si se encuentra plenamente convencido de que su propia motivación lo ha llevado a ese lugar, si ese no es el caso, será mejor animarlo a buscar algo afín a su perspectiva, darle un par de buenos consejos y desearle buena suerte, seguramente de esa forma evitaremos sentirnos con derecho a reclamarle en un futuro ciertas actitudes como el no dar 100% de su esfuerzo al proyecto de investigación, cuando fuimos nosotros mismos quienes le construimos la perspectiva.

Por el contrario, si nos dedicamos a impulsar a los estudiantes para que encuentren su propio camino, probablemente un día, algún biólogo triunfador y satisfecho con su labor, al recordar sus tiempos de estudiante pensará: “¡ah, ese era un buen maestro!”. En eso deberíamos todos de tener algo de biólogo social ¿no lo creen?

Referencias Bibliográficas

- Arteaga, Yannet J. y Fernando J. Tapia. 2009. “Núcleos problemáticos en la enseñanza de la Biología”, en *Educere*, vol.13, núm. 46, pp. 719-724.
- Islas Graciano, Sara E. 1993. “Pasado y presente en la formación profesional del biólogo”, en *Perfiles Educativos*, núm. 59, pp. 45-54.
- Pozo, Juan I. 1999. “Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional”, en *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 17, pp. 513-520.

Lo natural: un concepto enigmático

Autor⁸

ABSTRACT. The term “natural” has long been one of the key concepts within contemporary political, moral, legal and consumer discourse. A central issue of many theoretical disputes and conservation-restoration practices revolves around the “naturalness” of living organisms, species or ecosystems. The applied questions lead to metaphysical inquires about makes a thing natural. Ever since classical times there have been many endeavors to specify what natural means, yet we still lack a clear, unambiguous conception of this concept. We cannot expect to make progress in environmental moral and political reflection and practice until we clarify the concepts that are employed in our arguments.

KEY WORDS. Natural, semi-natural, artefactual, landscape, individuality, culture, climate change, environment.

En la época actual, los cambios antropogénicos en el ambiente natural han llegado a ser tan cuantiosos que es imprescindible replantear nuestras teorías y prácticas. A pesar de esa necesidad, las aparentemente novedosas ideologías éticas y políticas ambientales comúnmente se originan en conceptos ambiguos y anticuados que aprisionan nuestro pensamiento y, por tanto, también nuestras acciones. Políticos, filósofos y mundo de negocios aprovechan esta confusión o desacuerdo sobre el significado de los conceptos y todos ellos —apoyados en argumentaciones semánticas, etimológicas, históricas y políticas— escogen su propio modo de interpretarlos conforme a sus propios intereses y juicios preconcebidos. Los conceptos de ‘naturaleza’ y ‘ambiente’ se han reconstruido completamente; no obstante, han retenido su poder mítico y debilitante dentro del movimiento ambientalista y la opinión pública en general¹. Sin lugar a dudas, en el discurso político, en la moral contemporánea y en la vida cotidiana, la gente se ve obligada constantemente a elegir entre lo que se considera ‘natural’ y lo ‘no natural’ o ‘artificial’. Estos conceptos forman parte de muchos argumentos dentro del discurso y la práctica ambiental varias disputas teóricas y prácticas de conservación-restauración gira alrededor de la “naturalidad” de organismos vivientes, especies o ecosistemas.

Las cuestiones éticas conducen a una indagación metafísica sobre la esencia de lo natural. ¿Qué es lo que hace que algo sea “natural”? Al parecer no hay evidencia de que los ecosistemas naturales, prístinos o heredados, muestren propiedades de estructura, función o diseño, que difieran de otros menos “naturales”. Se puede asumir entonces que las especies, hábitats y ecosistemas relacionados con las áreas dominadas por los seres humanos tienen un valor intrínseco —que reclama protección y respeto— equivalente o igual a los sistemas más “naturales”. La creencia de que no hay una diferencia de valor intrínseco que separe a las

⁸ Kwiatkowska T. (2006) Lo natural: un concepto enigmático. *Revista Ludus Vitalis*, UNAM XIV(25):153-161.

especies, hábitats y ecosistemas “más naturales” de las “menos naturales” corresponde al hecho de que no se puede distinguir entre ellos ninguna diferencia biológica. Sin embargo, esta cuestión es una de las más debatidas dentro de los círculos de la ética ambiental.

Puesto que el término “natural” ha sido central en la vida humana, debemos intentar descubrir su connotación histórica y contemporánea; el papel moral y político del término “natural” y conceptos relacionados ha sido considerable en nuestra historia. Desde los tiempos clásicos, numerosos escritores reflexionaron de muchas maneras sobre la relación entre el mundo humano y el natural, frecuentemente con una preocupada conciencia de que las definiciones claras son difíciles de lograr. En 1686, Robert Boyle escribió:

Confieso que podría desear sinceramente que los filósofos y otros eruditos (a los que con el tiempo el resto seguirían) introduzcan, por consentimiento común (aunque quizá tácito), algunos términos y expresiones más significativos y menos ambiguos en el espacio de la muy licenciosamente abusada palabra naturaleza [...] y donde deben utilizarla, agreguen una que otra palabra para declarar en qué sentido claro y determinado la usan.

Los conceptos de “naturaleza” y de lo “natural”, contruidos por medio de nuestra experiencia de la naturaleza, han variado considerablemente a lo largo del tiempo en las diferentes culturas. Lo natural representa y ha representado “lo que es dado, estable y ordenado, o lo que se ha perdido y tiene que ser recuperado por medio de la acción radical. La naturaleza ha sido la obra divina e inigualable de Dios, ‘el trono exterior de la magnificencia divina’, el reino de lo amoral y de lo inculpable y el producto del pecado marcado por el incesante sufrimiento”. Las cosas eran naturales o sobrenaturales. Las sobrenaturales eran consideradas “inmateriales, simples, indivisibles, incorruptibles e inmutables”. Las naturales eran “materiales, compuestas, divisibles, corruptibles y mutables”. El cambio era la esencia de lo natural.

No cabe duda de que el significado de un término se altera al paso que cambia nuestro conocimiento del tema. Los usos contemporáneos del concepto difieren considerablemente de sus elucidaciones históricas. En consecuencia, es de vital importancia revisar los conceptos que utilizamos al diseñar las políticas que conducen a la conservación de los ecosistemas y sociedades.

E. Mayr sugirió que los filósofos deberían olvidar su aversión a las definiciones y tratar de comprobar, por medio de definiciones precisas, si los términos que utilizan son apropiados. Esto pondría fin a un sinnúmero de controversias dentro del corpus filosófico. En 1989, Bill McKibben anunció “el fin de la naturaleza”: Hemos transformado la atmósfera y por lo tanto estamos cambiando el clima [...] Al cambiar el clima, hacemos de cualquier lugar sobre la Tierra un producto del hombre y artificial. Hemos privado a la naturaleza de su independencia y esto es fatal para su significado. La independencia de la naturaleza es su significado; sin él sólo quedamos nosotros.

No hay más naturaleza “por sí misma”. Al parecer, el problema no es un fenómeno reciente; es tan antiguo como la ocupación humana de la Tierra. W.F. Ruddiman sugirió que las prácticas agrícolas de nuestros ancestros, la tala de bosques y la irrigación de campos, inició el calentamiento global hace miles de años, mucho antes de que utilizáramos el carbón o condujéramos automóviles. El clima varía. Cambia en la escala temporal de milenios entre las épocas glaciales y en la escala más corta de siglos entre, por ejemplo, un periodo medieval cálido y la época del frío posterior (1300-1850). Estos cambios representan, según asumen los científicos, las variaciones naturales del clima. Incluso, mientras que los datos del siglo veinte confirman un aumento de temperatura global, ningún análisis puede constatar con certeza que este fenómeno no es natural. El cambio climático, natural o no, puede afectar la vida en la Tierra, puede provocar enfriamiento o calentamiento, huracanes tropicales más violentos y alterar la vegetación regional, entre otros fenómenos. Puede esculpir el paisaje biótico visible y, con esto, transformar la faz de la Tierra. Si esta es una verdad actual y cedemos a la idea del “fin de la naturaleza”, entonces, ¿cómo se relaciona esta idea con el concepto de lo “natural”?

En 1874, John Stuart Mill en su clásico ensayo *Sobre la naturaleza*, formuló y distinguió cuatro sentidos en los cuales algo puede ser considerado como “natural”. En un sentido, la naturaleza es simplemente la totalidad de las cosas existentes, todo lo que hay en el universo; en otro sentido, es la obra de Dios, distinto de lo humano, mientras que, en un tercer sentido, es aquello que es independiente de la influencia o invención humana, por último, en el sentido de ser auténtico o fiel a sí mismo. Algunos filósofos contemporáneos creen que todo aquello que obedece a las leyes de la física es igual y totalmente natural, ya que no hay ley o principio natural que los seres humanos puedan trastornar o violar. Para un darwiniano, la idea de un “mundo natural” es redundante. Todo aquello que no es sobrenatural es natural por igual; por lo tanto, el concepto de valor “natural” puede aplicarse por igual a todo. Un predicado, “natural”, que incluye todas las propiedades en acto y potencia no excluye nada. Denotar todo es como denotar nada, al menos nada en particular.

Además, si el concepto incluye a los humanos, todo es “natural” y tiene poca utilidad aparte de ser un pobre sinónimo de “todo”. Cualquier cosa que los humanos hacen es natural, sin importar si lo hacen bien o mal. Las decisiones de un director industrial que violan los reglamentos ambientales son acciones tan naturales como corales alimentándose bajo el mar en Australia. Obviamente, no podremos hacer buenas distinciones y mucho menos obtener buenas pautas a partir de este sentido de “lo natural”. La objeción más contundente a este sentido de lo natural es que tal definición no permite ningún contraste útil con lo cultural; sin embargo, es necesario analizar cuidadosamente esa oposición si es que los humanos quieren relacionarse con la naturaleza de una manera ética, o si simplemente quieren una buena administración racional de los recursos.

Las definiciones de Mill difícilmente pueden proveernos de bases para la conservación y la administración. Tampoco ofrecen el sustento para una distinción biológica, normativa o legal entre organismos alterados genéticamente y cultivos agrícolas convencionales o animales domesticados, los cuales son el resultado de siglos de artificio humano.

Hace poco Keekok Lee propuso la existencia de dos distintas categorías ontológicas: lo natural y lo artefactual. La primera posee valor ontológico en virtud de la independencia de la intrusión humana, mientras la segunda, al ser un producto de nuestros propósitos, sólo atiende explícitamente a los intereses humanos. Se puede visualizar un continuo que tenga como extremos opuestos a la naturalidad y a la civilización. Ambos extremos son absolutos teóricos inalcanzables; no hay lugar sobre el globo terráqueo que esté libre de nuestra influencia; a la inversa, no hay hecho humano que esté al margen de las fuerzas de la naturaleza.

Por su origen, la comprensión de lo que es “natural” es derivada, en su mayor parte, de la tradición romántica que enfatiza la idea de la no intrusión de lo humano. Esto es resultado del mito, comúnmente aceptado, que cuenta que antes del advenimiento de la era industrial el ambiente se encontraba en su totalidad prístino e impoluto. Aquí vemos reflejado el anhelo por aquellos lugares misteriosos e inexplorados, por las tierras y mares infinitamente salvajes, por “la naturaleza silvestre completamente deshabitada, llena de vida por sus árboles vivos y marchitos”, lugares tanto físicos como metafísicos. Esta naturaleza sublime sólo existe como un otro idealizado del mundo manso y domesticado de la realidad.

Esta definición excluye a los animales domesticados, los peces cultivados, especies introducidas, todos los hábitats modificados, ríos regulados, bosques administrados, áreas restauradas, etcétera. Todos ellos son artificios culturales y por lo tanto artefactos. Como tales, no poseen valor intrínseco alguno. Sin embargo, antes de proclamar el fin de la naturaleza y de lo natural como consecuencia de la actividad humana, deberíamos estudiar de manera más atenta la historia. En muchos lugares, la mayoría de las plantas y de los animales no son indígenas o “naturales”, sino que se han establecido desde otras regiones lejanas siguiendo el paso de la actividad humana. “Desde el despertar del Holoceno, cuando las condiciones globales que dieron pie a las actuales se desarrollaron a partir de la Edad del Hielo, los humanos siempre han influido en el ambiente natural”.

Factores fortuitos, la influencia humana (incluyendo la introducción de especies) y pequeñas variaciones climáticas pueden causar cambios sustanciales en la vegetación y la fauna correspondiente, la biodiversidad de un paisaje dado será distinta de un periodo a otro y ninguna variante es necesariamente más “natural” que otra. Ninguno de los procesos humanamente inducidos reemplazó a eventos y procesos naturales. Los estudios recientes señalan el gran impacto que las culturas Paleolíticas y Mesolíticas (c. 10 000-4 500 AC) tuvieron sobre la vegetación. El uso accidental o deliberado del fuego se ha identificado como uno de los factores más importantes en el cambio ambiental efectivo. La quema de lo que debió ser un paisaje

densamente arbolado originó condiciones favorables para el pastoreo de animales salvajes y posteriormente domesticados. Poco se sabe del alcance de la quema en tiempos prehistóricos, pero los efectos que el hombre mesolítico tuvo sobre la vegetación pudieron sobrepasar toda proporción con relación a su población.

La flora de la Europa central ha sufrido un enriquecimiento de diversidad a lo largo del tiempo histórico como resultado de invasiones humanamente inducidas de plantas. Los europeos empezaron a cultivar cosechas no indígenas de trigo, cebada y leguminosas hace ocho mil años. Los humanos, sin lugar a dudas, han modificado sus alrededores naturales. Talaron los bosques nativos, secaron los pantanos, domesticaron las tierras bajas y de los páramos hicieron pastizales. Los cambios antropogénicos llevados a cabo por los griegos sobre el ambiente natural son ampliamente conocidos. La hermosa naturaleza que describe Platón en el Fedro, “la sombra oscura de los frondosos plátanos; la exuberancia aromática de plantas y hierbas en flor, y la dulce brisa que abanica el chirrido de los grillos” se ha restaurado a su original belleza por medio de reglamentos estrictos. Los científicos están de acuerdo de que en América Latina “no hay selvas tropicales vírgenes, ni tampoco las hubo en 1492”.

El paisaje siempre ha sido una creación conjunta del mundo natural y de la actividad humana, interactuando una con otra a través de los siglos. Todo diseño del paisaje es artificial. Por otro lado, ninguna construcción del mismo viola las leyes de la naturaleza. Toda agricultura contrasta con la naturaleza espontánea, pero algunas prácticas agrícolas reflejan al carácter de la tierra y del clima mientras que otras no. Si lo natural reside en aquellos lugares silvestres que jamás han sido tocados por la mano del hombre, donde ningún tipo de intervención humana ha tomado lugar, entonces hay pocos lugares así sobre la Tierra. Desde los bosques boreales del frío norte de Canadá y Siberia, hasta las cálidas, húmedas selvas tropicales pasando por los mixtos bosques de hoja caduca, los de pino y mediterráneos, y praderas, estepas y pampas de la zona templada, los cazadores y recolectores estuvieron cambiando la distribución, densidad y composición de los biomedios tanto como seguramente del clima. Fue una coevolución. G. Peterken distinguió cinco diferentes tipos de “naturalidad” de los bosques: naturalidad original, naturalidad pasada, naturalidad presente, naturalidad potencial y la naturalidad futura. Este autor considera la naturalidad como una variable continua, que va desde lo completamente natural (ciento por ciento natural) hasta lo completamente artificial (cero por ciento natural).

Según su clasificación, lo natural significa que el bosque ha crecido sin administración o explotación directa, siguiendo nada más los procesos naturales acorde con los factores tales como el clima, la geología, la historia, la hidrología y el curso de perturbaciones. Sin embargo, estos conceptos no se pueden aplicar fácilmente a algún bosque en particular, puesto que han pasado milenios desde que el bosque podría ser considerado como originalmente “natural”. De igual manera, el término “seminatural”, como derivado de la vegetación natural, se ha aplicado de manera más bien generosa a los remanentes modificados del paisaje, en su mayoría bosques

que representan los últimos vestigios de la distribución original de la vegetación. Según Peterken, lo “seminatural” es en la actualidad empleado como antónimo de “plantación”.

La tendencia de sellar herméticamente el concepto de lo natural, aislándolo del ambiente real, en el fondo obstruye la administración eficiente y apropiada de los recursos naturales y reservas naturales. Gran parte de la naturaleza tiene una vida independiente de las actividades humanas. Los árboles son más que algo que una planta. El mundo que nos rodea, lleno de plantas y animales, domésticos y salvajes, de ríos y montañas, de vientos y lluvias, y de cuerpos celestes que nos envuelven, es un mundo que todavía pervive a nuestro alrededor. Los ríos podrán estar contaminados, especies de plantas y animales extinguiéndose, las montañas llenas de basura, la lluvia será ácida, los vientos soplar desperdicios tóxicos, sin embargo, todas estas cosas están “allá afuera”, en el mundo real, y seguramente lo estarán aún después de que la humanidad desaparezca. Los ambientes naturales, ya sea como sitios domesticados o desarrollados, funcionan “sin flujos energéticos o económicos directamente controlados por humanos”. Estos son los sistemas de energía solar elementales, que dependen de la luz solar y otras fuerzas de la naturaleza, tales como la lluvia, el fluir del agua y los vientos, que son una forma indirecta de energía solar [...] Los ambientes naturales no sólo incluyen a aquellos lugares silvestres o prístinos donde poca gente suele ir, sino muchos lugares que nos son muy familiares, como arroyos naturales, ríos, bosques, praderas, montañas, lagos y océanos.

La naturaleza se deja ver en las fuerzas geológicas y en la programación genética, es el viento y la incipiente semilla. El mismo concepto de lo “natural” sugiere un proceso continuo, de cambio y desarrollo, que da vida y la sostiene sujeta a sus propias regularidades intrínsecas. Los procesos que gobiernan las entidades “naturales” son radicalmente diferentes de los procesos por medio de los cuales se producen los artefactos culturales. S. Vogel comenta:

La tecnología natural difiere de la humana de manera marcada y extensa. Nosotros erigimos construcciones rígidas y secas; la naturaleza las hace húmedas y flexibles. Nosotros las hacemos de metales; la naturaleza nunca. Nuestras articulaciones giran; las de ella por lo general se doblan. Hacemos maravillas con la rueda y el movimiento rotatorio; la naturaleza construye excelentes navíos, aeroplanos y vehículos terrestres que carecen completamente de ellas. Nuestros motores generalmente giran o se expanden; los de ella se contraen o deslizan. Nosotros construimos grandes estructuras unitarias; las grandes construcciones de la naturaleza son astutas proliferaciones de pequeños componentes.

Podemos intervenir en algunos de los procesos naturales; sin embargo, no hemos sido capaces de reproducirlos por medios tecnológicos. Teofrasto escribió que la distinción entre plantas “salvajes” y “cultivadas” se debe simplemente a la labranza, ya que ambas pueden ser o lo uno o lo otro. Algunas especies salvajes han sido cultivadas y algunas especies cultivadas se han vuelto salvajes, pero “se puede decir que no es un cambio sino un desarrollo natural hacia una forma mejor o inferior”.

Sosteniendo que cada planta tiene su propia meta natural, señaló que el crecimiento no asistido pone en evidencia con mayor claridad el telos de los árboles. Entre todos los seres vivientes, es únicamente para la humanidad que el término “cultivado” es en realidad estrictamente apropiado, o al menos al que mejor se aplica. La infinita e inagotable variedad de las cosas naturales es precisamente lo que distingue lo generado por la naturaleza de lo hecho por el hombre.

El ser humano no sólo es incapaz de crear bellezas de variedad infinita, sino también cuando se confía a sí mismo, ya sea por pereza, ignorancia o vanidad, se repite a sí mismo. El color real y único de la naturaleza y su infinita variedad es lo que constituye la perfección de las cosas naturales que somos incapaces de imitar. “Estamos rodeados por una abundancia que ninguna habilidad humana puede imitar”. ¿Hay acaso algo, un elemento, propiedad de estos llamados paisajes que pueda ser imitado tale quale? No lo hay; “imposible” está escrito en diferentes letras en todo el mundo natural.

Después de todo, las cosas naturales poseen “individualidad” que el arte no puede imitar; sólo podemos copiar generalidades. Esta individualidad y el carácter dinámico y espontáneo de los procesos naturales yace en el corazón de la “naturalidad” de cada árbol, planta, bosque o pantano y demás, que los hace únicos pues cada uno tiene una historia diferente que contarlos.

Referencias bibliográficas y notas

- 1 “The Death of Environmentalism”; <http://www.thebreakthrough.org.com>, p 12.
- 2 Boyle R. “A Free Enquiry into the Vulgarly Received Notion of Nature”, in Selected Philosophical Papers of Robert Boyle, M.A. Stewart, (comp.). 1979, sec. II (R. Boyle publicó su tratado en enero de 1686).
- 3 Gigliotta, “A. environmental history and the category of the natural”, Environmental History 2005:
- 4 Dee, J. Mathematical Preface to the Elements of Geometrie of Euclid of Megera, 1570, publicado con la introducción de A. G. Debus en 1797.
- 5 Mayr, E. This is Biology. The Science of the Living World. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1997, pp. 58-60
- 6 McKibben, B. The End of Nature, Nueva York: Anchor Books, 1989, p.2.
- 7 Ruddiman, W. Scientific American, marzo de 2005: 46-54.
- 8 Ver: Willie Soon and Sallie Baliunas, Lessons & Limits of Climate History <http://www.marshall.org/pdf/materials/136.pdf>
- 9 Conversación personal con Mark Sagoff.
- 10 Keekok, L. The Natural and the Artificial: The Implications of Deep Science and Deep Technology for Environmental Philosophy. Lanham, MD: Lexington Books, Rowman & Littlefield, 1999.
- 11 Thoreau, H.D. Maine Woods, Nueva York, Harper and Row, 1987 p. 93-95.

- 12 Dickinson, W.R., "The times are always changing: The Holocene saga", en Geological Society of America 107, núm.1, 1995: 1-7
- 13 Simmons, I.G. "Evidence for vegetation changes associated with Mesolithic man in Britain", en Dimbleby, G.W., y Ucko, P. (comps.), The Domestication and Exploitation of Plants and Animals, Londres
- 14 Véase: Radley, J. "The Mesolithic Period in North-East Yorkshire", en Yorkshire Archeological Journal, vol. XLII: 315-327.
- 15 Dimbleby, G.W. "The development of British heath-lands and their soils", en Oxford Forestry Memoirs, 23, 1962
- 16 Livio Rossetti, Thinking About the Enviroment.
- 17 Denevan, W. M., "The Pristine Myth: The Landscape of the Americas in 1492", en Annals, Association of American Geographers 82, 1992: 369-85.
- 18 William, M., Deforesting the Earth, From Prehistory to Global Crisis, Chicago, Londres: The University of Chicago Press, 2003, p.12
- 19 Peterken, G. F., Natural Woodland: Ecology and Conservation in Northern Temperate Regions, Cambridge University Press, Cambridge, 1996
- 20 Williams, M., Deforesting the Earth, From Prehistory to Global Crisis, The University of Chicago Press, Chicago y Londres, 2003
- 21 Peterken, op.cit. p. 14.
- 22 Odum E.P., Ecology. A Bridge Between Science and Society. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Mass, 1996:12.
- 23 Steven Vogel, Cat's Paws and Catapults. Mechanical Worlds of Nature and People, W.W. Norton & Company, Nueva York, Londres, 1998:16.
- 24 Theophrastus, Enquiry into Plants, II. 2, II-III .I, trad. del ingles de Sir Arthur Hort, Cambridge, Mass. Harvard University Press, 1968, p. 119
- 25 Teofrasto, ibidem, I. 3. 5-IV. p. 29.
- 26 Harding, J.D., The Principles and Practice of Art: Elementary Art or the Use of the Lead Pencil Advocated and Explained, Londres, 1834. p. 113.
- 27 Ibidem, p. 17.

BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

- Aguilar A. R. (2015) ¿Tú que tipo de biólogo quieres ser? Revista *Ciencias*, UNAM. núm. 115-116, enero-junio, pp. 84-92.
- Gómez S. M. 2010 La investigación científico-tecnológica debe suponer nuestra fragilidad humana. Revista *Ludus Vitalis*, UNAM. vol. XVIII, num. 33, pp. 291-294.
- Kwiatkowska T. (2006) Lo natural: un concepto enigmático. Revista *Ludus Vitalis*, UNAM. vol. XIV. num. 25. pp. 153-161.
- Mestres, F. 2012. “La utilización del concepto de ADN en nuestra sociedad: tecnociencia, frases hechas y errores científicos”, *Sociología y tecnociencia*, nº 2, Vol. 1, pp. 33-43.
- Pérez R. A. R. 2007. ¿Qué queda de la distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación? Revista *Theoria* 60: 347-350.
- Rasskin-Gutman, D. 2008. Nuevos horizontes de la biología teórica. Revista *Ludus Vitalis*, UNAM. vol. XVI, num. 30, pp. 229-232.
- Rengifo G.L.A. 2009. Aportes de la epistemología de la biología para la enseñanza de la biología. Asociación Colombiana para la investigación en Ciencias Y Tecnología EDUCyT, Memorias, I congreso Nacional de investigación en educación en ciencias y tecnología. Junio 22 a 26, ISBN: 978-958-99491-0-8
- Saldivia M. Z. 2009. La antigua tarea de ordenar y clasificar a las ciencias. Revista *UNIVERSUM* . Nº 24. Vol. 1. Universidad de Talca. Pp. 206-216.