

CIENCIA Y CULTURA elementos

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

No. 57 Vol. 12 enero-marzo 2005 \$25.00



Reflexiones sobre el uso del lenguaje... J. A. González La sistemática en México
H. Elloza, M. C. Navarro Mecanismos genéticos... F. Fontúrbel, C. Molina El ambiente,
más allá de la naturaleza M. F. Pacheco Ensayo fotográfico P. Aridjis



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
rector, Enrique Agüera Ibáñez
secretario general, Armando Valerdi Rojas
vicerrector de investigación y estudios de
posgrado, Pedro Hugo Hernández Tejeda

ELEMENTOS

www.elementos.buap.mx

revista trimestral de ciencia y cultura
número 57, volumen 12, enero-marzo de 2005

director, Enrique Soto Eguibar

subdirector, José Emilio Salceda

consejo editorial, Beatriz Eugenia Baca

María de la Paz Elizalde, Enrique González Vergara

Francisco Pellicer Graham, Leticia Quintero Cortés

José Emilio Salceda, Raúl Serrano Lizaola

Enrique Soto Eguibar, Cristóbal Tabares Muñoz

Gerardo Torres del Castillo

edición, Elizabeth Castro Regla,

José Emilio Salceda, Enrique Soto Eguibar

asistente, María del Refugio Álvarez Tlachi

diseño y edición gráfica, Jorge López Vela

fotografías de portada e interiores, Patricia Aridjis

impresión, Lithoimpresora Portales S.A. de C.V.

redacción, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria,

Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570

e mail: elemento@siu.buap.mx

Revista registrada en Latindex (www.latindex.unam.mx),

catalogada en red alyc (<http://redalyc.uaemex.mx>) y miembro

de la Federación Iberoamericana de Revistas Culturales.

Certificados de licitud de título y contenido 8148 y 5770.

ISSN 0187-9073



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

S U M A R I O

Reflexiones sobre el uso del lenguaje

3

en ecología, medio ambiente y biología de la conservación

José Antonio **González Oreja**

La sistemática en México

13

Héctor **Elíosa León**, María del Carmen **Navarro Carbajal**

Mecanismos genéticos del proceso de coevolución

21

Francisco **Fontúrbel**, Carlos **Molina**

El ambiente, más allá de la naturaleza

29

Miguel Fernando **Pacheco Muñoz**

Las horas negras

35

Patricia **Aridjis**

Conservación y restauración del cerro Zapotecas

39

Margarita **Tlapa Almonte**

La biofísica, ¿ciencia básica o aplicada?

47

Eduardo **González Jiménez**, Valery Ivanovich **Poltev**

Algunas ideas de Gerald Edelman Sobre el darwinismo neuronal

51

Irene **Ripalda**

Armas, gérmenes y acero,

54

un gran avance en la teoría de la historia

Mauricio **Schoijet**

Notas científicas

57

LA INTERACIÓN *GLUCONACETOBACTER*

DIAZOTROPHICUS-CAÑA DE AZÚCAR COMO

MODELO PARA EL ESTUDIO DE LA TRANSMISIÓN

DE BACTERIAS BENÉFICAS

Jesús Muñoz Rojas

Libros

63



© **Patricia Aridjis**, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

Reflexiones sobre el uso del lenguaje

en ecología, medio ambiente y biología de la conservación

José Antonio
González Oreja

Corren (vuelan, más bien) tiempos difíciles para la conservación de la naturaleza. Asistimos en los inicios del siglo xxi a momentos que pueden ser realmente críticos para el futuro de los procesos biológicos y ecológicos sobre la Tierra. Por un lado, se agrava tanto la intensidad como la magnitud de los problemas ambientales que afectan a gran parte de los sistemas de soporte vital de nuestro planeta. Por otro lado, sin embargo, disponemos de conocimientos con los que nunca antes habíamos contado sobre la naturaleza de tales problemas, así como de propuestas –siquiera parciales– para su posible solución. Es decir, quizás sea ahora o nunca cuando debemos tomar las medidas oportunas para resolver los problemas ambientales que nos acechan, pues de lo contrario podría ser demasiado tarde...

La inquietud por esta situación ambiental ha llevado a que palabras como ecología estén realmente de moda. Y, con ella, las de su familia lingüística: ecologismo, medio ambiente, conservación, etc. Lo que, por una parte, podría resultar útil “a la causa” de la naturaleza, pero, por otra, también podría introducir confusión, si es que los términos cuentan con varios significados. Por ejemplo, ¿es lo mismo ecología que ecologismo; es igual ecólogo que ecologista; qué es medio ambiente; qué es conservación; cuáles son las similitudes y las diferencias que hay en el significado de estos términos?

El propósito de este texto es reflexionar, desde un punto de vista centrado en el uso del lenguaje, sobre las relaciones que hay entre estos conceptos, para así ayudar a una utilización adecuada de los mismos, en especial en lo concerniente a los problemas que afectan a la conservación de la naturaleza y su posible solución.

¿QUÉ ES LA ECOLOGÍA?

La etimología de la palabra ecología nos ayuda a comprender su significado. En origen, el término ecología fue un neologismo acuñado en 1866 por el biólogo alemán Ernst Haeckel, gran inventor de nuevas palabras. Ecología deriva del griego, donde la raíz *oikos* significa casa, y la terminación *logos* hace referencia al estudio de una cierta materia; en un sentido amplio, por lo tanto, la ecología consistiría en la economía doméstica de la naturaleza, la amplia casa en la cual vivimos. El propio Haeckel dio una definición más extensa en 1869; en el lenguaje de la época, dijo así:

Por ecología entendemos el cuerpo de conocimientos referente a la economía de la naturaleza: la investigación de todas las relaciones de los animales con su ambiente orgánico e inorgánico, incluyendo sobre todo las relaciones amistosas y de enemistad con los animales y las plantas con los que en tales ambientes entran en contacto directo e indirecto. En pocas palabras: la ecología es el estudio de todas las complejas interrelaciones que Darwin consideraba como condiciones de la lucha por la existencia.

Nótese la limitación que Haeckel hacía del término ecología al reino animal, superada a lo largo del desarrollo histórico de la misma, así como la relación de la ecología con la economía.

Una definición más académica de ecología (compilada por nosotros a partir de varios libros de texto modernos sobre ecología¹⁻³) nos dice que la ecología es la ciencia que estudia las interrelaciones que los seres vivos establecen con su medio ambiente. Una apostilla interesante, presente en algunas definiciones, agrega que como resultado de tales relaciones se modifican los patrones de distribución y abundancia de los organismos. Un añadido más (aunque desde nuestro punto de vista innecesario, como veremos más adelante) completa la definición incluyendo las relaciones que mantienen unos organismos con otros. Así entonces, una definición más desarrollada de ecología (aunque para nosotros internamente redundante) podría ser la siguiente: ecología es la ciencia que estudia las relaciones que los seres vivos establecen entre sí y con su medio ambiente, resultado de las cuales se modifican sus patrones de distribución y abundancia. Así pues, no cabe duda de que entre todas las disciplinas de las ciencias biológicas, la ecología es la más heterogénea y la de mayor amplitud.

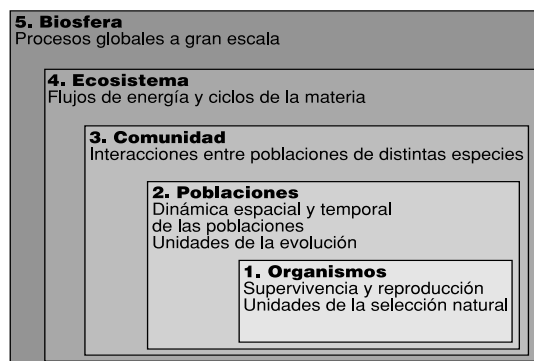


FIGURA 1. Los sistemas ecológicos se establecen sobre diferentes tipos de estructuras y procesos, ordenados de modo jerárquico. Esta jerarquía va desde la escala más pequeña, que afecta a los organismos y sus relaciones con el medio ambiente inmediato, hasta la escala más amplia, que implica a la biosfera, un sistema de máximo rango que engloba a todo lo demás, pasando por las escalas intermedias de sistemas como poblaciones, comunidades y ecosistemas.

Durante un tiempo el uso de la palabra ecología estuvo limitado al área de conocimiento científico al que hizo referencia Haeckel. Es decir, la ecología era practicada por los ecólogos (y decimos “los” conscientes de la escasez manifiesta de ecólogas en la época; algo que, afortunadamente, ya no es así). Sin embargo, la segunda mitad del siglo xx asistió a la popularización del término ecología, lo que implicó hasta cierto punto su desvirtualización, con la inclusión de significados no contemplados en su acepción original. Hoy en día, no es raro escuchar o leer en los medios de comunicación frases a favor de la ecología, o incluso en defensa de la ecología... como si la ecología estuviera amenazada o, aún peor, en peligro. Tanto es así que, en su vigésima segunda edición, el Diccionario de la Real Academia Española (de aquí en adelante, DRAE; consúltese, por ejemplo, su versión en Internet: <http://www.rae.es/>) contempla tres acepciones del término ecología, a saber: 1. Ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y con su entorno; 2. Parte de la sociología que estudia la relación entre los grupos humanos y su ambiente, tanto físico como social, y 3. Defensa y protección de la naturaleza y del medio ambiente. Es más, como ejemplo del último significado, el DRAE incluye la frase siguiente: “La juventud está preocupada por la ecología...” Sin embargo, no es lógico pensar que las siguientes frases, relativas a otras ciencias, tengan un significado pleno: la juventud se movilizó para defender a la física subatómica, o hay que defender la astronomía de largo alcance, o unámonos para luchar por las matemáticas aplicadas...

Esta multiplicidad de significados puede inducir a confusión. Está claro, a la vista de lo ya expuesto, que es la primera

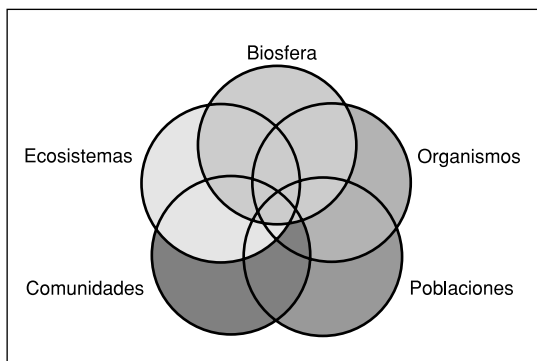


FIGURA 2. Hay, por lo menos, cinco aproximaciones diferentes que se pueden emplear en los estudios ecológicos. Cada aproximación se enfoca sobre un nivel diferente de la jerarquía ecológica comentada en la Figura 1, a pesar de que se mantienen relaciones de unión entre las distintas aproximaciones, conectando así los diferentes planos del conocimiento científico.

de estas acepciones la que hace referencia a la ecología como disciplina científica encargada del estudio de las interacciones que se dan entre los organismos y su medio ambiente. En efecto, los organismos se estructuran en una jerarquía creciente de complejidad biológica en poblaciones de la misma especie, en comunidades de distintas especies, en ecosistemas completos a una escala aún mayor, en paisajes, biomas, etc. (Figura 1). Las preguntas que busca responder la ecología varían conforme lo hace el sistema ecológico de interés.³ Así, por ejemplo, la ecología de organismos tiene que ver con los modos y maneras en los que éstos reaccionan ante los retos que supone el medio ambiente, y su variación tanto en el espacio como en el tiempo, centrándose en el estudio de las adaptaciones. Por su parte, la ecología de poblaciones se orienta básicamente al estudio de las dinámicas de cambio a lo largo del espacio y del tiempo de los patrones de abundancia de las especies, analizando para ello las tasas de natalidad, mortalidad, emigración, inmigración, etc. Finalmente, para terminar estos pocos ejemplos, la ecología de comunidades se enfoca al estudio de la estructura y el funcionamiento de las colecciones de poblaciones de diversas especies que comparten un mismo hábitat, incluyendo el análisis de los patrones de diversidad biológica en y entre las comunidades (Figura 2).

El análisis de estos u otros sistemas ecológicos se realiza a lo largo de una amplia serie de escalas, que varían tanto en el espacio como en el tiempo, todas ellas válidas en función de los objetivos del estudio en concreto. Por ejemplo, la variación espacio-temporal de las poblaciones de fitoplancton se da generalmente dentro de un rango de unos pocos kilómetros y unos pocos días, mientras que los fenómenos de sucesión de unas comunidades biológicas a otras después de una

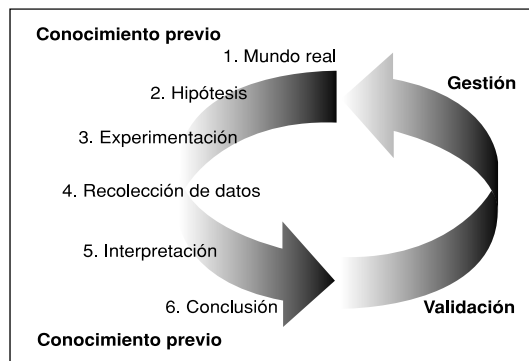


FIGURA 3. Un modelo simplificado del funcionamiento del método científico, mediante el cual se construyen teorías a partir de la información disponible, basada en observaciones, evidencias y resultados de experimentos. El estudio de la información previa nos permite formular una hipótesis, es decir, una suposición formal bien razonada, comprobable y específica, de la cual emanan predicciones que se pueden poner a prueba mediante un experimento controlado. El análisis de la información obtenida del experimento llevará a aceptar o rechazar la hipótesis de trabajo de partida. En realidad, la ciencia es un proceso cíclico, pues las conclusiones de los experimentos suelen plantear más preguntas, que esperan nuevas respuestas...

perturbación se desarrollan en una extensión espacial más o menos similar, pero a lo largo de períodos que pueden superar los cientos de años, pasando por los cambios cíclicos en el tamaño de algunas poblaciones de pequeños mamíferos, como ciertas especies de roedores, que se registran sobre superficies tan grandes como los cientos de kilómetros, y por períodos que están entre los años y las décadas.

Como tal, la ecología es una ciencia, y por lo tanto sigue el así llamado método científico. A grandes rasgos, el método científico se basa en la observación y la descripción de los fenómenos naturales, que conducen al desarrollo de hipótesis de trabajo que dan cuenta de tales fenómenos (Figura 3). La puesta a prueba de las predicciones emanadas de las hipótesis es una etapa necesaria del método científico, que se realiza mediante estudios observacionales o manipulaciones experimentales. Para ciertos autores, la ecología no es más que la historia natural consciente de sí misma.

En realidad, la ecología es una ciencia multidisciplinaria e integradora, capaz de abarcar áreas del conocimiento en biología que en principio no parecen tener ninguna relación. Es esta multidisciplinariedad la que hace de la ecología una ciencia rica, y en muchos casos compleja, aunque sin duda fascinante... Es más, las dimensiones humanas de la ecología hacen que los conocimientos ecológicos sean hoy en día necesarios en una sociedad que realiza un uso irracional de sus recursos, provocan-

do cambios drásticos en los sistemas ecológicos de los cuales depende la vida en la Tierra, incluyendo nuestra propia vida. Esta faceta aplicada de la ecología permite devolver a quienes financian los estudios ecológicos (esto es, a la sociedad en general) una parte de lo que ha sido previamente invertido, toda vez que ha sido transformado en conocimiento útil.

¿QUÉ ES EL MEDIO AMBIENTE?

En la definición que hemos dado de ecología figura un término que aún no ha sido explicado. En efecto, ¿qué es medio ambiente? En este caso, el DRAE acepta dos significados como válidos, a saber: 1. Conjunto de circunstancias culturales, económicas y sociales en que vive una persona, y 2. Conjunto de circunstancias exteriores a un ser vivo. Obviamente, el primer significado es una acepción muy limitada de medio ambiente, orientada al ser humano. El segundo, aunque más amplio por su aplicación a todo ser vivo, es igualmente restrictivo. En realidad, el medio ambiente de un organismo no hace referencia tan sólo a las condiciones físicas y químicas, es decir, abióticas, presentes en el exterior del organismo;¹⁻³ todo ser vivo presenta también un medio ambiente interno, determinado por el conjunto de variables abióticas que condicionan el interior del mismo, como por ejemplo la temperatura o el contenido de agua de los tejidos, la presión osmótica o el pH de la sangre, o la cantidad de oxígeno o de dióxido de carbono disuelto en la misma.

Sin embargo, es aún más importante señalar que el medio ambiente, interno o externo, no hace referencia tan sólo a las condiciones abióticas en las que se desarrolla un organismo, sino también a las condiciones bióticas que lo condicionan, incluyendo en él a otros organismos, y al resultado de sus relaciones con ellos. En efecto, los seres vivos interactúan con su medio ambiente, físico, químico y/o biológico, dentro de sistemas ecológicos concretos cuya magnitud se estructura conforme a la jerarquía anteriormente comentada. Los sistemas ecológicos constan tanto de componentes abióticos, carentes de vida, como de componentes bióticos, ya sean microorganismos, plantas o animales. Es más, los seres vivos no sólo reaccionan ante las características de su medio ambiente, sino que son capaces de modificarlo como resultado de su propia actividad. Un buen ejemplo de esto lo constituye el hecho de que la concentración de oxígeno molecular presente en la atmósfera ha ido cambiando notablemente

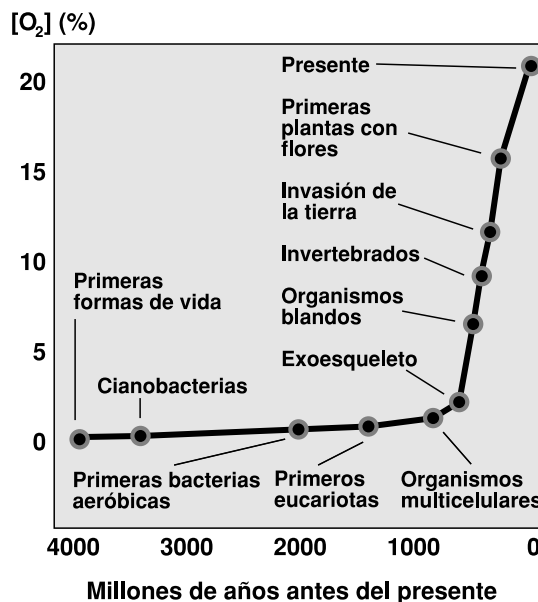


FIGURA 4. Un ejemplo de cómo los organismos pueden modificar notablemente su medio ambiente. La concentración de oxígeno molecular presente en la atmósfera $[O_2]$ (%), indispensable para la respiración de los seres vivos aeróbicos, ha aumentado constantemente desde la aparición de las plantas verdes sobre la Tierra. La función fotosintética, realizada principalmente por tales productores primarios, ha generado un subproducto, el oxígeno, que ha cambiado el medio ambiente en el que se desarrollaron.

a lo largo del tiempo geológico (de hecho, aumentando), precisamente como resultado de la actividad fotosintética de las plantas (Figura 4).

La etimología de las palabras viene una vez más en nuestra ayuda. A nuestro buen entender, el significado actual de medio ambiente está íntimamente relacionado con la traducción y adaptación al español del correspondiente término en inglés, *environment*, que, a su vez, procede del francés *environner*, cuyo significado es encerrar o rodear.⁴ Por lo tanto, medio ambiente hace referencia a todas las circunstancias o condiciones que rodean a un organismo, grupo de organismos o sistema ecológico más amplio. Así entonces, se comprende nuestra afirmación anterior de que una definición de ecología que haga referencia general a las relaciones que los organismos establecen con su medio ambiente, y referencia explícita a las relaciones que mantienen con otros organismos, implica sin duda una redundancia, pues esos otros organismos están ya incluidos en la definición en sentido más amplio de medio ambiente. En ecología, el medio ambiente de un organismo (o, por extensión, de un sistema ecológico de una escala superior) es el conjunto de todas las circunstancias o características presentes alrededor del mismo, incluyendo a los demás organismos, sean o no de su misma especie.



Por todo ello, el estudio del medio ambiente es igualmente una labor muy amplia y diversa, que necesita de numerosas aproximaciones complementarias. Tanto es así que hay un cuerpo de conocimientos, que toma forma en la actualidad, que se dedica al estudio científico y sistemático del medio ambiente específicamente humano, así como de nuestro papel en él. A tal cuerpo de conocimientos se le denomina ciencias del medio ambiente, o ciencias medioambientales. Las ciencias medioambientales forman un área relativamente nueva del conocimiento científico aplicado, e integran facetas propias de las ciencias naturales con otras de las ciencias sociales, las humanidades, la economía, la sociología, etc. El enfoque en los estudios medioambientales se centra en el análisis de los efectos de las actividades humanas sobre el medio ambiente en el cual éstas se desarrollan, así como en su impacto sobre otros sistemas ecológicos. Esta multidisciplinariedad de las ciencias ambientales, y su carácter integrador, permiten proponer soluciones a los problemas detectados, lo que contrasta con los resultados logrados desde otras aproximaciones más teóricas.

De un modo muy resumido, algunos de los principales temas de estudio actual en ciencias ambientales son los siguientes:⁴⁻⁷ 1) la gestión racional (aunque, generalmente, es irracional) de los recursos naturales, incluyendo los alimentos, o las fuentes de energía tradicionales y “alternativas”; 2) la

pérdida acelerada de biodiversidad que se registra durante los últimos años a una escala global; 3) la contaminación del aire, el agua y el suelo como resultado de actividades principalmente industriales, incluyendo fenómenos de máxima escala como el así llamado cambio climático global por aumento en la magnitud del efecto invernadero, y la destrucción del ozono estratosférico por emisión de clorofluorocarburos; 4) el efecto de tal contaminación sobre la salud humana, y 5) el análisis económico de las actividades de las sociedades humanas, y su relación con el desarrollo humano y la sociedad del bienestar, en busca de un “desarrollo sostenible” (o sustentable).

¿QUÉ ES EL ECOLOGISMO?

Ya antes dejamos claro nuestro punto de vista de que los significados que el DRAE admite para el término ecología no son todos igual de válidos. En concreto, desde nuestra modesta opinión, la defensa y protección de la naturaleza y del medio ambiente no deberían contemplarse como parte de la ecología, sino del ecologismo y, mejor aún, del movimiento de conservación de la naturaleza, o conservacionismo. Pero entonces, ¿qué es el ecologismo? Una consulta más al DRAE nos permite encontrar un único significado para el término ecologismo: 1. Movimiento sociopolítico que, con matices muy diversos, propugna la defensa de la naturaleza y, en muchos casos, la del hombre en ella. El ecologismo es, en efecto, una parte limitada de un concepto mucho más amplio, como es el de conservación de la naturaleza y de los recursos naturales.

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.





© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

La historia del movimiento conservacionista es muy amplia, y a lo largo de su desarrollo se registran debates apasionantes entre puntos de vista enfrentados con respecto a la conservación de la naturaleza.^{4,6} Es el caso de la conservación utilitaria, simplemente pragmática, propugnada en sus orígenes por Gifford Pinchot en los inicios del siglo xx, y la preservación biocéntrica, con raíces estéticas y filosóficas, defendida por su contemporáneo John Muir. De acuerdo con los postulados de Pinchot, la naturaleza en general, y los bosques en particular, deberían conservarse, sí, pero no porque resulten estéticamente bellos, o porque alberguen en su seno criaturas silvestres del mundo natural, sino solamente porque nos ofrecen beneficios económicos directos. Así, el primer principio de la conservación, según Pinchot, es el desarrollo y el uso de los recursos naturales disponibles aquí y ahora, para el mayor beneficio de quienes viven aquí y ahora. Por otro lado, el punto de vista de Muir admite la validez de postulados estéticos y espirituales. Su filosofía de conservación de la naturaleza queda bellamente expresada en las siguientes frases:

The world, we are told, was made for man. A presumption that is totally unsupported by the facts... Nature's object in making animals and plants might possibly be first of all the happiness of each one of them... Why ought man to value himself as more than an infinitely small unit of the one great unit of creation?

El mundo, así se nos ha dicho, fue creado para el hombre. Una premisa que en absoluto se evidencia por los hechos... El objetivo de la Naturaleza al crear



a los animales y las plantas pudo haber sido en primer lugar el bienestar de cada uno de ellos... ¿Por qué debería el hombre valorarse a sí mismo como algo más que una unidad infinitamente pequeña de la gran unidad de la creación? [Traducción del autor.]

Hoy en día, la postura del conservacionismo pragmático de Pinchot se conoce como conservación de la naturaleza, lo que implica el uso, es decir, la gestión racional de los recursos naturales; mientras que el conservacionismo bioético de Muir se denomina preservación de la naturaleza, lo que significaría proteger regiones naturales, lo más vírgenes posibles, de las perturbaciones debidas a las actividades humanas.

La historia del movimiento conservacionista es apasionante, pero no tiene más cabida en este texto, salvo en lo que respecta al medioambientalismo moderno, o ecologismo propiamente dicho. En efecto, a lo largo del siglo xx, el desarrollo de industrias altamente contaminantes, y los efectos a largo plazo de los agentes tóxicos y nocivos emitidos a la atmósfera, las aguas y los suelos, llevaron a ampliar el enfoque del movimiento a favor de la conservación de la naturaleza. El medioambientalismo propiamente dicho, que tiene sus raíces en la obra *Silent spring* de Rachel Carson, y que combina una defensa activa de la naturaleza con el uso de los medios de comunicación de masas para la difusión de tales acciones, o la participación en organizaciones no gubernamentales, se popularizó en nuestro idioma como ecologismo.

Desde nuestro punto de vista, quizás radique aquí una parte importante de la confusión existente entre el uso de los términos ecología y ecologismo, incorporando metafóricamente la interacción del medio ambiente. En efecto, la mayor parte de la difusión de los textos científicos modernos se lleva a cabo a través de la publicación de artículos en revistas de carácter internacional, principalmente de origen sajón, lo que implica que los principales avances de la ciencia en general, y de la biología y la ecología en particular, se han expresado utilizando la lengua inglesa. En muchas ocasiones, incluso en publicaciones en español se han venido empleando términos en inglés, al carecerse aún de una traducción aceptada por la comunidad científica;⁸ es el caso de *fitness*, *life history*, *trade-off*, etc. En inglés, *ecologist* es el término que identifica a quienes practican la ecología, es decir, a los ecólogos y las ecólogas, mientras que *environmentalist* es el término adecuado para los practican-



tes del ecologismo (también llamado medioambientalismo), es decir, a los y las ecologistas. A nuestro entender, una traducción libre, sin duda fácil, pero completamente errónea, de *ecologist* por ecologista, y no por su verdadero significado de ecólogo o ecóloga, ha llevado a que la confusión crezca. Según el DRAE, la única definición de ecólogo o ecóloga es: 1. Persona que cultiva la ecología. Ahora bien, igualmente de acuerdo con el DRAE, hay dos significados para el término ecologista: 1. Que propugna la necesidad de proteger la naturaleza, y 2. Persona que es partidaria de la defensa ecológica. Si aceptamos como válido el tercer significado que el DRAE admite para el término ecología, esto es, la defensa y protección de la naturaleza y del medio ambiente, vemos que estas actividades (defensa y protección) están incluidas en el término ecologista, por lo que resulta, casi como por arte de magia, que un ecólogo o una ecóloga es a la vez... ¡un o una ecologista! Esta confusión se manifiesta principalmente en medios de comunicación de masas, en los que no siempre se presta la atención debida al uso que se hace del lenguaje. A modo de ejercicio, véase prácticamente cualquier ejemplar de la revista *National Geographic* en español...

UNA APLICACIÓN HIPOTÉTICA

En realidad, los intereses de la ecología, y por lo tanto de un ecólogo o de una ecóloga, no tienen por qué ser los mismos que los del ecologismo, y por lo tanto de un ecologista o una ecologista. Veámoslo de forma muy resumida.

Imaginemos que, como resultado del trabajo de investigación de una ornitóloga interesada en conocer las relaciones que mantienen con su hábitat ciertas especies de aves de montaña, se descubre que un paseriforme forestal presenta una distribución geográfica muy limitada, unos valores de abundancia muy bajos, y que tan sólo aparece cuando en el bosque hay árboles de una determinada especie, y además con una cierta edad, ni demasiado jóvenes ni demasiado viejos: justo la que hace que los troncos sean susceptibles al ataque por ciertas plagas de insectos, que forman la práctica totalidad de la dieta de nuestra pequeña ave. Supongamos, además, que cierta compañía maderera local planea explotar de un modo intensivo los recursos naturales del área geográfica en la cual nuestra ornitóloga está realizando su estudio, talando los pies de árboles que no son demasiado jóvenes (cuyo pequeño diámetro podría indicar falta de rentabilidad económica), ni demasiado viejos (cuya madera podría no ser útil a los fines a los que será destinada). La tala

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.



programada por la empresa podría comprometer la supervivencia de la especie de ave cuya selección de hábitat estudió nuestra ornitóloga. Pero esto... es un problema medioambiental, no necesariamente un problema ecológico.

Es difícil ver desde el principio que la tala del bosque del supuesto anterior no tiene por qué promover la reacción de nuestra ornitóloga, sino, en su caso, del ecologista o de la ecologista (o, más bien, de los conservacionistas). Hasta cierto punto podríamos esperar que nuestra ecóloga de campo también participase de las actividades de defensa de la naturaleza que podrían surgir alrededor del hipotético caso propuesto, pero ello no es un resultado necesario de su condición como ecóloga. Como tal, su labor busca responder una pregunta inicial: la que motivó su estudio; en el caso del ejemplo, cuál es la selección de hábitat que realiza un cierto grupo de especies de aves. En este sentido, ella aporta conocimiento científico, del cual no se disponía previamente. Ahora bien, el problema medioambiental derivado de una mala gestión de los recursos naturales, en este caso de la posible desaparición local de cierta especie de passeriforme, se debe abordar desde una óptica conservacionista o, lo que viene a ser lo mismo en nuestro ejemplo, ecologista. En la resolución de tal conflicto, sin duda el conocimiento científico aportado por la ecóloga va a resultar sumamente importante, cabe decir necesario, pues sin él es muy probable que la tala propuesta se hubiera llevado a cabo sin plantear ningún problema a la sociedad. La decisión correcta sobre qué hacer en este caso no corresponde a nuestra ornitóloga, sino a los estamentos sociales capaces de tomarla, que deberían basarse, entre otras informaciones, en los estudios de campo de nuestra investigadora.

En la solución a este conflicto convendría considerar numerosos factores, y serían los practicantes de las ciencias medioambientales quienes deberían realizar tal labor. Por ejemplo, proteger de la tala los bosques en donde habita nuestra especie de ave, ¿qué consecuencias acarrearía para las poblaciones humanas que viven en el área afectada por tal medida; cómo influiría dicha protección sobre los recursos económicos de la empresa maderera encargada de la tala; qué opciones económicas podrían proponerse para que el efecto económico de la conservación fuera menor sobre los trabajadores de la empresa; qué tan importante es perder cierta especie de ave a una escala local, y a una escala regional; y si en lugar de una especie que va a desaparecer... fueran varias? ¿Cuál es la escala biológica adecuada a la cual hay que proteger o conservar a los seres vivos: individuos, poblaciones, comunidades? ¿Tiene sentido conservar a la población local de



nuestra especie de ave, o es más sensato centrar los esfuerzos de conservación en especies que pudieran resultar prioritarias, o de mayor importancia ecológica? Estas son tan sólo algunas de las preguntas que deberían plantearse antes de poder tomar una decisión racional al respecto de la gestión del recurso del ejemplo. Lamentablemente, no hay una respuesta fácil a las mismas, y afortunada o desafortunadamente su resolución exige un nuevo trabajo de investigación de campo y documentación de gabinete, un trabajo necesariamente multidisciplinario que permitiría el desarrollo profesional de nuevos investigadores.

UNA NUEVA DISCIPLINA CIENTÍFICA: LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN

La acelerada desaparición de la diversidad biológica,^{9, 10} que tiene lugar a muy diferentes escalas, es tan sólo un síntoma de una serie de fenómenos que implican la desestructuración del complejo conjunto de relaciones y procesos biológicos y ecológicos. Tal es la naturaleza del entramado de la vida, resultado de un largo proceso de evolución en la Tierra. Las consecuencias de tal situación serán seguramente adversas para los integrantes de nuestro planeta.

Consciente de ello, la biología ha desarrollado en los últimos años (está desarrollando, de hecho) un cuerpo doctrinal destinado a analizar, estudiar, medir y pronosticar las consecuencias de la pérdida de biodiversidad sobre los sistemas afectados, proponiendo en su caso medidas paliativas para minimizar los efectos negativos. A tal rama del conocimiento se le denomina biología de la conservación, y se estructura como una ciencia multidisciplinaria que surge en respuesta a la crisis ambiental representada por la pérdida de biodiversidad. La biología de la conservación tiene vocación de ciencia aplicada, siendo un vínculo entre la ciencia básica y los conocimientos tecnológicos.

La biología ha aportado conocimientos útiles a la conservación y gestión de los recursos naturales, incluyendo la diversidad biológica, como resultado de los avances en los estudios en ecología. Sin embargo, a pesar de los conocimientos emanados de tales áreas, no se ha conseguido progresar sustancialmente en la conservación real de los organismos y los sistemas ecológicos, lo que se debe más bien a la ausencia de compromiso y a una falta de cambio en los valores éticos de las sociedades humanas, aspectos necesarios para limitar la gestión irracional de los recursos naturales.¹¹ Como ciencia, la biología de la conservación



© Patricia Arijdis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

ha contribuido a intensificar el papel de los científicos en un área que hasta entonces había estado principalmente en manos de técnicos y gestores. Los procesos que provocan el declive de las poblaciones de las especies son complejos en cuanto a sus interacciones, por lo que deben ser objeto de diagnóstico mediante una investigación ecológica propiamente dicha. En condiciones ideales, el estudio y diagnóstico de los problemas ambientales relacionados con la conservación de los recursos naturales no puede abordarse a través del trabajo episódico, fugaz, de empresas creadas *ad hoc*, como consultoras de recursos naturales o pequeñas empresas destinadas a realizar estudios de evaluación del impacto ambiental, o, peor aún, por profesionales que operan de modo aislado, por muy buenas que sean las intenciones de las unas o de los otros. Para resolver los problemas objeto de este análisis, es necesario invertir en la generación de conocimientos aplicados, que garanticen un mayor papel de la biología de la conservación en la gestión del patrimonio natural.

REFLEXIONES FINALES

Ser ecólogo o ecóloga, ser estudioso o estudiosa de cualquier grupo de organismos o sistemas ecológicos, o ser biólogo o bióloga de la conservación, y practicar al mismo tiempo el ecologismo, el conservacionismo o el medioambientalismo, es decir, manifestar aquella actitud de compromiso a la que hacía referencia la definición del DRAE que antes reseñamos, no siempre tienen que ir de la mano.

Despojar a los términos correctos en cada caso de la carga peyorativa con que en ocasiones se les ha arropado

ayudaría a una mayor comprensión entre quienes realizan labores de estudio y conservación de los recursos naturales, como hemos pretendido ilustrar a lo largo de este texto.

N O T A S

¹ Begon, M., Harper, J.L. y Townsend, C.R., *Ecology. Individuals, populations, communities*, 3a. ed., Blackwell Science, Oxford, 1998.

² Krebs, C.J., *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance*, 5a. ed., Prentice Hall, 2001.

³ Ricklefs, R.E. y Miller, G.L., *Ecology*, 4a. ed., W.H. Freeman and Company, New York, 2000.

⁴ Cunningham, W.P. y Saigo, B.W., *Environmental science*, 6a. ed., McGraw-Hill, Boston, 2001.

⁵ Freedman, B., *Environmental ecology. The ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses*, 2a. ed., Academic Press, San Diego, 1995.

⁶ Miller, G.T., *Environmental science. Working with the earth*, 9a. ed., Brooks/Cole, Thomson Learning, Toronto, 2003.

⁷ Pepper, I.L., Gerba, C.P. y Brusseau, M.L. (editores), *Pollution science*, Academic Press, San Diego, 1996.

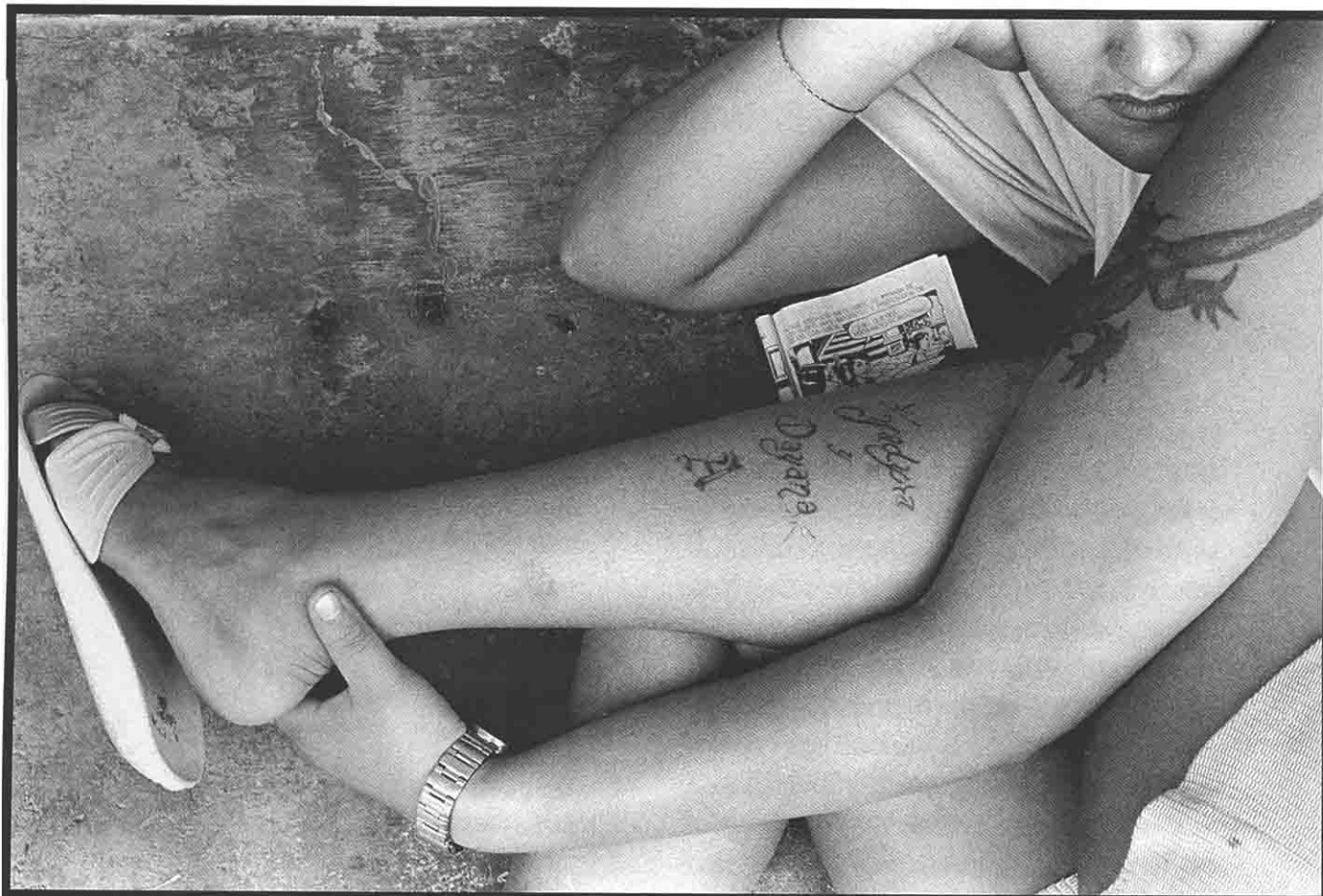
⁸ Soler, M., Carranza, J., Cordero Rivera, A., Moreno, J., Senar, J.C. y Soler, J.J., Traducción al español de los términos ingleses más conflictivos utilizados en etología, ecología y evolución, *Etología*, 9, 2001, pp. 43-46.

⁹ Wilson, E.O. (editor), *Biodiversity*, National Academy Press, Washington, 1989.

¹⁰ Reaka-Kudla, M.L., Wilson, D.E. y Wilson, E.O. (editores), *Biodiversity II: Understanding and protecting our biological resources*, National Academy Press, Joseph Henry Press, Washington, 1997.

¹¹ Tellería, J.L., Biología de la conservación: balance y perspectivas, *Ardeola*, 46 (2), 1999, pp. 239-248.

José Antonio González Oreja, Departamento de Química y Biología, UDLA-Puebla. jgonzorj@hotmail.com



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

La sistemática $\subseteq$ México

Héctor

Eliosá León

María del Carmen

Navarro Carbajal

En el pasado reciente, en México se han publicado diversos libros y artículos que abordan aspectos teóricos y prácticos de la sistemática biológica (Villaseñor y Dávila, 1992; Luna y Llorente, 1993; Chiang y cols., 1994; Llorente y Soberón, 1994; De Luna, 1995; Eguiarte y cols., 1997; Pérez Ponce de León, 1997; Sosa y Ogata, 1998; Llorente y Papavero, 1999; Morrone, 2001a, 2001b; Nixon y Ochoterena, 2001), esto indica que existe un renovado interés por desarrollar estudios en esta área; sin embargo, en casi todos estos trabajos se señala que los alumnos de licenciatura o de posgrado están escasamente interesados en adquirir una formación como sistemáticos. Las causas pueden ser muchas, desde la falta de presupuesto para financiar la investigación, el acceso restringido a instrumentos o literatura que faciliten la labor de los investigadores, la negativa de taxónomos ya establecidos y otros biólogos a conocer los conceptos y métodos modernos de la sistemática, el desconocimiento del idioma en el que se publica la literatura especializada en este campo, etc.; no obstante, a nuestro juicio la principal razón radica en que no se conoce con precisión qué es la sistemática moderna ni sus alcances. Parece que los estudiantes creen que la sistemática es una disciplina pasada de moda e innecesaria, propia de los naturalistas de antaño, que se limita a la descripción de los seres vivos. Este desdén hacia la sistemática en México no es nuevo, autores como Rioja (1958), López Ochoterena (1964), Herrera (1965) y Lamothe (1981), habían señalado un marcado desinterés hacia esta disciplina desde mediados del siglo pasado, atribuyendo como principales causas de esta situación a que: 1) por un tiempo la sistemática fue invadida por aficionados carentes de toda formación científica o por malos sistemáticos que distorsionaron el papel de

esta disciplina llevándola al descrédito, 2) la ausencia de un método objetivo y explícito no permitía hacer análisis más rigurosos desde el punto de vista científico, por lo que los trabajos eran más “artísticos”, es decir, la ambigüedad del método de trabajo empleado generaba serias dudas de los resultados obtenidos, los cuales básicamente se alcanzaban con base en el principio de autoridad de los especialistas, 3) la enseñanza de la sistemática elemental en la licenciatura es casi siempre deplorable y en el posgrado se ignora o se relega, 4) los investigadores tienden a hacer ciencia aplicada y no ciencia pura.

Afortunadamente, en la actualidad esa problemática está siendo superada. Por tal razón, el presente ensayo está dirigido a estudiantes que inician la licenciatura en biología, y tiene el propósito de destacar la labor de la sistemática y fomentar su enseñanza en este nivel educativo, con la finalidad de formar recursos humanos capacitados e interesados en realizar investigación en esta disciplina.

LA SISTEMÁTICA CONTEMPORÁNEA

Brevemente, la sistemática es la disciplina de la biología comparada encargada de estudiar la biodiversidad desde el punto de vista de las relaciones jerárquicas de los linajes. Para ello, debe cubrir tres aspectos fundamentales; el primero es el reconocimiento de la biodiversidad, es decir, debe identificar a las especies. El segundo es estimar la filogenia de las especies, y el tercero consiste en la elaboración de clasificaciones que reflejen de manera fiel la filogenia de las mismas. La sistemática que actualmente se enseña o se difunde en las universidades o centros de educación superior en el mundo, es la escuela filogenética o cladista, por lo cual sólo hablaremos de ella en este trabajo.

La sistemática cladista fue formalizada por el entomólogo alemán Willi Hennig en 1950 (Morrone, 2001b). La idea básica de este método consiste en comparar especies, empleando caracteres que evidencien una historia evolutiva compartida; en otras palabras, busca establecer las relaciones de hermandad entre las especies, asumiendo que determinadas similitudes (homologías derivadas o sinapomorfías), reflejan el parentesco entre ellas, bajo el principio de la parsimonia. Así, si tenemos tres organismos, por ejemplo, un pez, un ratón y una lombriz de tierra, podemos inferir que los dos primeros guardan una relación de parentesco más estrecha entre sí —que cualquiera de ellos con la lombriz de tierra— debido a

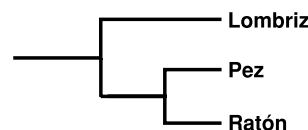


Figura 1. El cladograma indica las relaciones de parentesco entre los organismos. El pez y el ratón están más emparentados entre sí que cualquiera de ellos con la lombriz.

que comparten novedades evolutivas o sinapomorfías que los hermanan (como poseer columna vertebral, mandíbulas, tubo nervioso dorsal). El resultado de la aplicación de este método es un diagrama de ramificación comúnmente denominado cladograma que muestra la historia evolutiva del grupo de interés (Figura 1). En los años recientes, los investigadores han continuado refinando la metodología, buscando las mejores alternativas para analizar los caracteres que permitan revelar los patrones evolutivos y evaluar la fortaleza de las hipótesis así generadas. De manera sucinta se indica el proceso básico para la construcción de cladogramas (Figura 2).

SISTEMÁTICA: ¿PARA QUÉ?

Quizá históricamente la primera tarea de la sistemática fue el reconocimiento de la biodiversidad, es decir, identificar a las especies que viven en una determinada área, con el objeto de conocer los recursos biológicos de esa región. Esta actividad se efectúa mediante la recolecta de muestras de organismos en el campo y posteriormente los ejemplares se analizan en el laboratorio para determinar la especie a la que pertenecen, o si existen diferencias significativas con las formas conocidas previamente, se tratarán como nuevas especies. La realización de inventarios biológicos es fundamental, entre otras razones, debido a que:

a) permite identificar la riqueza de especies de una región, lo cual a su vez aumenta el conocimiento biológico de los organismos, lo que facilita descubrir propiedades que se podrían aplicar en beneficio de los habitantes del país. Por ejemplo, desde la Segunda Guerra Mundial se han patentado más de 3000 clases de antibióticos (Dirzo y Raven, 1994).

b) los monitoreos subsecuentes de la biota en una cierta área geográfica —llevados a cabo en forma sistemática— nos informarán de los cambios que pueden ocurrir, con el tiempo, en la composición de las especies de tal área.

Estos aspectos son de suma importancia si consideramos que aún en la actualidad no sabemos de manera exacta cuántas especies habitan el planeta. Se han realizado cálculos

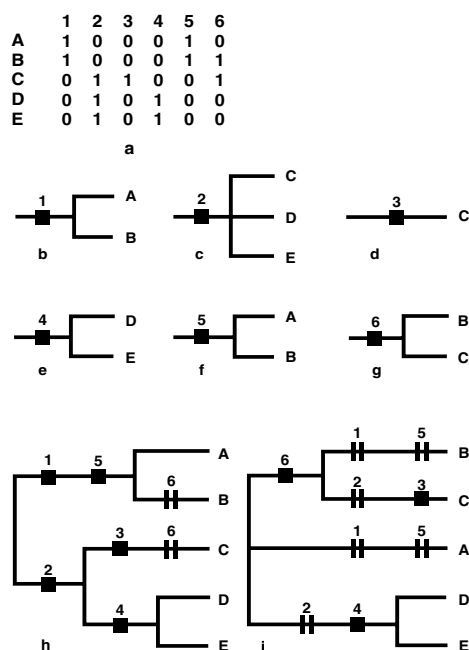


Figura 2. Construcción de un cladograma. a) Matriz de datos (renglones: taxones, columnas: caracteres); b-g) subcladogramas correspondientes a cada uno de los caracteres; h-i) cladogramas alternativos resultantes. El principio de parsimonia da prioridad al cladograma h. (Tomado de Morrone, J.J., 2001a. Se reproduce con permiso del autor).

muy conservadores para estimar el número de especies que pueblan la Tierra, los cuales varían de diez a quince millones de especies y otros menos moderados estiman el número entre treinta y cincuenta millones de especies (Crisci, 1998). Lo más asombroso es que se ha descrito científicamente sólo un millón y medio de especies (Llorente y Soberón, 1994). Asumiendo que actualmente se describen unas diez mil especies nuevas por año, los científicos tardarían al menos quinientos años en inventariar científicamente el total de especies existentes (Crisci, *op. cit.*); lamentablemente el deterioro ambiental, la fragmentación de los hábitats naturales y la introducción de especies exóticas en algunas áreas harán imposible conocerlas porque se habrán extinguido antes de ser descubiertas, dada su actual tasa de extinción de 5% por década. También como una parte fundamental del reconocimiento de la biodiversidad, la sistemática asigna los nombres científicos de las especies, de acuerdo a las reglas de nomenclatura para cada grupo, lo cual permite una comunicación clara entre la comunidad de científicos del mundo.

LA SISTEMÁTICA Y LA HISTORIA DE LA VIDA EN LA TIERRA

Después de conocer las especies, es necesario establecer las relaciones de parentesco que hay entre ellas y, si se dispone

de fósiles, se puede combinar esta información para reconstruir la historia evolutiva de los organismos. La mejor aproximación a la filogenia de los seres vivos es mediante el uso del método cladista (Ridley, 1996; Schuh, 2000), descrito brevemente en la sección anterior. Esto nos lleva a tener una mejor comprensión de los patrones evolutivos y al mismo tiempo nos acerca a entender mejor los procesos que los originaron, por ejemplo, a partir de los cladogramas, se puede conocer la evolución que han seguido los caracteres de las especies estudiadas. Asimismo, los cladogramas pueden usarse para poner a prueba hipótesis de disciplinas biológicas ajenas a la sistemática, tales como ecología, biogeografía, etología, paleontología, etc. (Morrone, 2001), y de esa manera se ofrece una explicación global a la historia evolutiva de los organismos. La información de la filogenia debe servir de base para la clasificación biológica y así generar las clasificaciones naturales.

EL VALOR PREDICTIVO DE LA SISTEMÁTICA

El método cladista asume la ancestría común de las especies, esto significa que si consideramos a dos especies como hermanas, es debido a que comparten caracteres que heredaron de su especie parental y además se originaron al mismo tiempo (Hennig, 1968; Schuh, 2000). Esta información se puede aprovechar si se busca alguna cualidad útil en los seres vivos. Por ejemplo, el taxol es una droga con propiedades anticancerígenas que se extrae de la corteza del tejo (yew) del Pacífico (*Taxus brevifolia*), cuya área natural de distribución es el occidente de los Estados Unidos. Estos árboles no son muy abundantes y tardan hasta 200 años en alcanzar una altura de 15 m y un diámetro de 60 cm, dimensiones de las cuales se pueden obtener hasta 2.5 kg de corteza. Si el ritmo de explotación de ese árbol es irracional, pronto se amenazará la supervivencia de la población. En este aspecto, la sistemática nos permite orientar la búsqueda de otros árboles que puedan poseer la misma sustancia; este esfuerzo se encamina a la especie hermana de *T. brevifolia*, que resulta ser el tejo europeo (*T. baccata*) en el cual afortunadamente también se ha encontrado el taxol, incluso en concentraciones mayores, y sus poblaciones son más abundantes. Otro ejemplo interesante se presenta en las cicadas; el género *Microcycas* endémico de Cuba tiene una baja o casi nula regeneración en el campo. *Zamia* es el grupo hermano de *Microcycas* y es polinizado por varios grupos de escarabajos. La morfología y posición del



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

cono en *Microcycas* es similar a *Zamia*, por lo que se sugirió que también debería ser polinizado por esos insectos (Sosa y Ogata, 1998). En el área de distribución de *Microcycas* se ha encontrado una especie de escarabajo del género *Rhopalotria*, y otras especies de este género de insectos polinizan a *Zamia* (Vovides y cols., 1997), con lo cual la predicción parece cumplirse. Cabe resaltar que algunos caracteres son exclusivos de una especie y por lo tanto no se presentan ni en las especies hermanas; este tipo de caracteres en el cladismo se denomina autapomorfía, y puede ser responsable de que nuestras predicciones no se cumplan.

LA SISTEMÁTICA Y LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

En la actualidad hay diferentes causas que han contribuido a la pérdida de la biodiversidad a escala mundial. Afortunadamente, también ha surgido un gran esfuerzo por evitar esa catástrofe, diversas disciplinas tanto fuera como dentro de la biología están contribuyendo al desarrollo de estrategias que permitan la conservación de especies y al mismo tiempo faciliten el desarrollo sustentable de los recursos biológicos. La sistemática es una de las disciplinas de la biología que puede influir en los criterios para seleccionar las especies a conservar o para determinar las áreas prioritarias de conservación. Por ejemplo, para maximizar la conservación de la biodiversidad no resulta suficiente considerar el mayor número de especies *per se*, sino que además se debe tomar en cuenta que quede representada la mayor parte de los grupos del “árbol de la vida”, y no un gran número de especies de una sola “rama”; es decir, se debe conservar el mayor número de historias evolutivas posibles.



LA SISTEMÁTICA Y LA DISTRIBUCIÓN DE LOS SERES VIVOS

De acuerdo con autores como Morrone (2000) y Crisci y cols. (2000), un evento histórico está formado por tres componentes básicos: tiempo, espacio y forma. Las disciplinas biológicas que ponen énfasis en esos componentes son la evolución, la biogeografía y la sistemática, respectivamente. De manera breve, se puede señalar que la biogeografía es la disciplina de la biología comparada que estudia la distribución de los seres vivos en el espacio y cómo ésta cambia a través del tiempo.

Recientemente se ha reconocido un estrecho vínculo entre la sistemática y la biogeografía debido al desarrollo de la metodología denominada panbiogeografía, introducida por Croizat (1952) y el método cladista implementado por Hennig (1968). Los biólogos norteamericanos Nelson y Platnick (1981) asociaron ambas ideas, creando lo que se denomina biogeografía cladista o de la vicarianza, la cual tiene como objetivo entender las relaciones entre las áreas de endemismo, para ello establece que es posible determinar los patrones de distribución comunes mediante el uso de los cladogramas de los taxones; es decir, se puede comprender la historia de la distribución espacial de las especies, a través de las relaciones de parentesco que existen entre ellas. Así la información aportada por la sistemática cladista es un requisito para realizar estudios biogeográficos con un enfoque vicariancista.

LA SISTEMÁTICA Y LA CORRECTA DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES

Los especialistas en sistemática cuentan con las herramientas adecuadas y poseen el entrenamiento y la experiencia necesarios la determinación confiable de los especímenes. Desde el punto de vista científico, todo trabajo genético, ecológico o de otra índole requiere la correcta identificación de las entidades biológicas en estudio. Las investigaciones que cometen errores en ello se vuelven inservibles (Cordero, 1994). En determinadas circunstancias este servicio resulta ser de gran valor; así en casos de importancia médica, la determinación correcta de las especies que afectan a los pacientes es crítica, por ejemplo, en infecciones parasitarias, piquetes de arácnidos o de serpientes o en intoxicaciones por hongos.

Actualmente en México para la autorización de obras carreteras, la SEMARNAT ha establecido como requisito la rea-



LA SISTEMÁTICA Y SU RELACIÓN CON OTRAS DISCIPLINAS BIOLÓGICAS

lización de estudios de impacto ambiental, los cuales incluyen la presentación de los inventarios biológicos; nuevamente, la participación de los sistemáticos debería ser relevante, ya que la única forma de determinar correctamente a las especies es recolectar a los organismos y depositar los especímenes “voucher” (organismos depositados en una colección científica que se utilizan para conocer la identidad de la especie) en una colección científica formalmente establecida. Aquellos estudios que no utilicen este servicio tendrán menos valor por la imposibilidad de verificar la determinación de los ejemplares. Desafortunadamente los estudios de impacto ambiental son realizados, en la mayoría de los casos, por profesionales ajenos a la biología o, si hay participación de biólogos, éstos generalmente no tienen un entrenamiento en sistemática, por lo que únicamente se limitan a la revisión bibliográfica de los inventarios realizados con anterioridad en la zona de interés (si es que existen) o de las zonas vecinas, por lo que frecuentemente se obtiene listados de flora y fauna incompletos y erróneos; por ejemplo, se han incluido ¡serpientes marinas en áreas semiáridas!

A manera de ejemplo señalaremos brevemente la relación que existe entre la sistemática y la ecología. Con el desarrollo del pensamiento darwiniano de la evolución quedó claro que la biodiversidad es producto de la combinación de procesos genealógicos y ambientales (Brooks y McLennan, 1991; Ornelas, 1998). Tradicionalmente, los primeros quedaron como materia de estudio de la sistemática y los segundos se convirtieron en la línea de investigación de la ecología, particularmente en lo que se ha denominado el “programa adaptacionista”.

El ajuste funcional entre el organismo y su ambiente se denomina adaptación. Los caracteres adaptativos son moldeados por la selección natural, tienen una función actual y confieren una ventaja a sus poseedores (Gould y Vrba, 1982). Con base en estas características de la adaptación, resulta común asumir que los rasgos que presentan los organismos son adaptaciones; sin embargo, esto no siempre es cierto. Algunos caracteres que presentan los seres vivos son producto de su historia evolutiva y no resultado de la adaptación, es decir, son caracteres ancestrales persistentes debido a la inercia filogenética. El método cladístico permite diferenciar los caracteres adaptativos de

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.





© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

aquellos que no lo son. Para ello se sobreponen los caracteres a evaluar en los cladogramas obtenidos independientemente; si existe correlación entre el carácter analizado y una variable ambiental se trata de una adaptación, en contraste, si no hay correlación el carácter no es adaptativo.

CONSIDERACIONES FINALES

Hemos expuesto en forma general algunas razones que, a nuestro juicio, convierten a la sistemática moderna en un valioso pilar para la biología. Sobre decir que en México existen pocos sistemáticos, situación que se agrava si consideramos que no todos ellos conocen o hacen uso del método cladista, por lo que se quedan en la etapa descriptiva de la sistemática. También queremos resaltar que para resolver el problema del reconocimiento de la biodiversidad de nuestro país, se requiere que las futuras generaciones de sistemáticos además de poseer bases sólidas de la teoría y práctica cladista, sean especialistas en algún grupo biológico, lo que facilitará la tarea de inventariar y conocer los patrones y procesos que han determinado la historia evolutiva de la fauna y flora mexicana. No podemos esperar más tiempo a que investigadores extranjeros realicen el trabajo que a los mexicanos nos corresponde, ya que si bien esta ayuda es valiosa, estamos ante una situación de emergencia debido a la pérdida acelerada de nuestra biodiversidad, por lo que urge la participación de un mayor número de sistemáticos, lo cual sólo se logrará en la medida en que se comprenda la

importancia de la sistemática y se fomente la investigación de esta disciplina en las diversas instituciones de educación superior en México.

Para concluir, deseamos resaltar que es tiempo de devolverle a la sistemática la posición de privilegio que alguna vez tuvo. Reiteramos nuestra invitación a los alumnos que inician una carrera en biología a que incursionen en el estudio de la sistemática, pues como dice el Dr. Crisci (1998), el cladismo es el lenguaje de la biología comparada.

A G R A D E C I M I E N T O S

Deseamos agradecer a Laura Riboni y a Juan José Morrone por sus valiosas sugerencias a una versión preliminar. También agradecemos a este último su autorización para reproducir la figura 2.

G L O S A R I O

AUTAPOMORFÍA: un estado de un carácter exclusivo de un grupo, no compartido con ninguno otro.

FILOGENIA: historia de las relaciones evolutivas entre los miembros de un grupo debido a su evolución de un ancestro común.

SINAPOMORFÍA: carácter derivado compartido. Novedad evolutiva compartida por dos o más taxa a partir de un ancestro común.

R E F E R E N C I A S

- Brooks, D.R. y McLennan, D.A., *Phylogeny, ecology and behavior. A research program in comparative biology*, The University of Chicago Press, Chicago, 1991.
- Cordero, C., Comentarios de un ecólogo, *Rev. A/C*, 21, 1994, pp.10-13.
- Chiang, F., Dávila, P. y Villaseñor, J.L., Panorama actual de la taxonomía vegetal en México, *Bol. Soc. Bot.*, 55, México, 1994, pp. 17-20.



Crisci, J.V., La sistemática de nuestro tiempo: hechos, problemas y orientaciones, *Bol. Soc. Bot.*, 63, México, 1998, pp. 21-32.

Crisci, J.V., Katinas, L. y Posadas, P., *Introducción a la teoría y práctica de la biogeografía histórica*, Sociedad Argentina de Botánica, Buenos Aires, 2000.

Croizat, L., *Manual of phytogeography*, Junk, La Haya, 1952.

De Luna, E., Bases filosóficas de los análisis cladísticos para la investigación taxonómica, *Acta Botánica Mexicana*, 33, 1995, pp. 63-79.

Dirzo, R. y Raven, P., Un inventario biológico para México, *Bol. Soc. Bot.*, 55, México, 1994, pp. 29-34.

Eguarte, L.E., Souza, V., Nuñez-Farfán, J. y Hernández-Baños, B., El análisis filogenético: métodos, problemas y perspectivas, *Bol. Soc. Bot.*, 60, México, 1997, pp. 169-181.

Gould, S.J. y Vrba, E.S., Exaptation. A missing term in the science of form, *Paleobiology*, 8, 1982, pp. 4-15.

Hennig, W., *Elementos de una sistemática filogenética*, EUDEBA, Buenos Aires, 1968.

Herrera, T., Tendencias actuales en la sistemática vegetal, *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 26, 1965, pp. 101-114.

Lamothe, R., En defensa de la taxonomía, *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. Zool.*, 52 (1), 1981, pp. 481-483.

López Ochoterena, E., Tendencias actuales en la taxonomía, *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 25 (6), 1964, pp. 109-119.

Morrone, J.J., El tiempo de Darwin y el espacio de Croizat: rupturas epistémicas en los estudios evolutivos, *Ciencia*, 51 (2), 2000, pp. 39-46.

Morrone, J.J., *Sistemática, biogeografía, evolución. Los patrones de biodiversidad en tiempo-espacio*, Las prensas de Ciencias, UNAM, México, 2001a.

Morrone, J.J., *El lenguaje de la cladística*, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, UNAM, México, 2001b.

Nelson, G. y Platnick, N.I., *Systematics and biogeography: cladistics and vicariance*, Columbia University Press, Nueva York, 1981.

Nixon, K. y Ochoterena, H., Taxonomía tradicional, cladística y construcción de hipótesis filogenéticas, en Hernández, H.M., García-Aldrete, A.N., Álvarez, F. y Ulloa, M. (compiladores), *Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad*, Ediciones Científicas Universitarias, UNAM-Fondo de Cultura Económica, México, 2001, pp. 15-37.

Papavero, N. y Llorente, J. (compiladores), *Herramientas prácticas para el ejercicio de la taxonomía zoológica*, Ediciones Científicas Universitarias, UNAM-Fondo de Cultura Económica, México, 1999.

Pérez Ponce de León, G., La taxonomía en México: el papel de la sistemática filogenética, *Ciencia*, 48 (3), 1997, pp. 33-39.

Ornelas, J.F., Filogenias y método comparativo: identificación y evaluación de hipótesis evolutivas y establecimiento de criterios para conservar especies en riesgo, *Acta Zoológica Mexicana*, nueva serie, 74, 1998, pp. 5-42.

Ridley, M., *Evolution*, 2a. ed., Blackwell Science Inc., 1996.

Rioja, E., Evolución de la sistemática y algunos de sus problemas actuales, *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 19 (1-4), 1958, pp. 1-49.

Schuh, R.T., *Biological systematics: principles and applications*, Cornell University Press, USA, 2000.

Sosa, V. y Ogata, N., La sistemática y la conservación de la diversidad biológica, en Halffter, G. (compilador), *La diversidad biológica en Iberoamérica II*, *Acta Zoológica Mexicana*, nueva serie, volumen especial, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México, 1998, pp. 33-43.

Villaseñor, J.L. y Dávila, P., *Breve introducción a la metodología cladística*, Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 1992.

Vovides, A.P., Ogata, N., Sosa, V. y Peña García, E., Pollination of endangered Cuban cycad *Microcycas calocoma* (Miq.), *A. DC. Botanical Journal of the Linnean Society*, 125, 1997, pp. 201-210.

Héctor Elíosa León y María del Carmen Navarro Carbajal,
Escuela de Biología de la BUAP. heliosa@siu.buap.mx

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.





© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

Mecanismos genéticos del proceso de coevolución

Francisco
Fontúrbel
Carlos
Molina

El concepto de coevolución planteado por Odum¹ define a este proceso en el marco de una selección natural recíproca entre dos o más grupos de organismos, entre los cuales se generan estrechas relaciones ecológicas, mas no se produce ningún intercambio de información genética. Este tema provoca polémica en la actualidad, puesto que algunas corrientes científicas apoyan su existencia^{2, 3} (y respaldan su opinión con bases genéticas explicativas^{3, 4}), mientras que otras posturas –como la de Jolivet–⁵ más bien lo ponen en duda.

La coevolución se define como un proceso de selección natural recíproca, pero es también un proceso de selección que depende de la frecuencia de los alelos; es decir, la fuerza con la que actúa la selección natural se expresa mediante una función matemática de la frecuencia de los grupos alélicos involucrados. Además, la selección natural no se debe considerar separada de los procesos ecológicos, ya que mediante las diferentes interacciones ecológicas sucede el proceso de selección, el cual refuerza las formas mejor adaptadas y elimina a las de menor eficacia biológica.

En esta revisión se toma como referencia las distintas teorías y mecanismos relativos al tema y se ofrece un panorama general de los aspectos genéticos –correlacionándolos con los ecológicos– involucrados en el proceso de coevolución en plantas.

TENDENCIAS Y PROBLEMÁTICAS ACTUALES

DE LA TEORÍA DE COEVOLUCIÓN

Actualmente todavía se debate el concepto de coevolución y su aplicabilidad en la naturaleza.⁶ Dicha teoría ha sido investigada en varios niveles, desde los virus⁷ hasta organismos eucariotas más complejos, como artrópodos y angiospermas.⁸ Sin embargo, la discusión continuará mientras no quede claro el trasfondo genético del tema ni se perciba de manera objetiva su interrelación con los procesos ecológicos (aunque muchas veces éstos parezcan confusos y provoquen subjetividades de interpretación por parte de las diferentes corrientes científicas).

Si bien muchos estudios han aportado pruebas significativas de que existe una interacción de este tipo entre dos o más organismos,¹⁰⁻¹⁴ otros estudios han mostrado evidencias experimentales que sugieren que no hay una asociación verdadera entre los fenómenos observados,¹⁵⁻¹⁷ sino que simplemente son eventos aleatorios inespecíficos. Sea cual sea la posición que se adopte, es innegable que existe algún mecanismo de selección recíproca entre los organismos, se denomine o no coevolución.

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

BASES GENERALES DEL PROCESO COEVOLUTIVO

La idea de una evolución paralela y coordinada la planteó por primera vez Darwin¹⁸ en su libro *El origen de las especies* (1859), a partir de la relación de polinización y alimentación que observó entre algunas orquídeas y los abejorros. La idea fue plasmada en dicho texto hace más de cien años, pero el concepto de coevolución no se implementó oficialmente sino hasta mucho tiempo después. Odum¹ lo definió como la selección recíproca entre dos o más especies estrechamente relacionadas pero sin intercambio genético.

En los últimos años se han efectuado muchas investigaciones relacionadas con la coevolución, fundamentalmente con el afán de validarla –o rechazarla– como teoría y parte de la evolución. En 1965, Ehrlich y Raven¹⁹ acuñaron este término dentro de la biología moderna con base en el estudio que realizaron sobre mariposas y plantas. Sobre esa base conceptual fueron muchos los autores que a su vez analizaron el proceso de coevolución.

El proceso coevolutivo y sus implicaciones fueron estudiados con mayor énfasis en las plantas, por la evidente interacción específica que tienen con otros organismos como, por ejemplo, los insectos. En este sentido, investigadores de renombre, como Dodson²⁰ –quien observó que el 50% de las especies de orquídeas conocidas se asocian con insectos–, contribuyeron notablemente al conocimiento que hoy en día tenemos sobre el tema.

PROCESOS Y MODELOS GENÉTICOS DE LA COEVOLUCIÓN

La coevolución se ha investigado desde hace varias décadas en el aspecto ecológico, sin embargo, son pocos los estudios



genéticos que se han efectuado al respecto. El análisis de la genética de la coevolución es un requisito fundamental para comprender este tipo de interacciones; por ello, en los últimos años ha adquirido mayor importancia y se han realizado varios estudios enfocados a delimitar un marco referencial que explique –o, por lo menos, trate de explicar– el proceso coevolutivo desde el punto de vista genético y molecular.

El proceso coevolutivo incluye una serie de cambios recíprocos producidos en dos o más poblaciones no consanguíneas, de las cuales una actúa como factor de selección de la otra y viceversa, en una sucesión de adaptaciones.³ En este sentido, la coevolución se empieza a entender en términos de genética; se interpreta entonces como una selección efectuada a nivel de fenotipo bajo diferentes aspectos del contexto evolutivo, y éste a su vez se percibe como resultado de dicha selección.⁴

Volviendo a lo planteado por Darwin,¹⁸ la teoría de la selección natural considera dos elementos fundamentales: la sobrevivencia y la reproducción, parámetros que, combinados, hoy en día se conocen como eficacia biológica. Las interacciones entre los organismos se miden en términos de cambio de la

eficacia biológica;²¹ una interacción negativa reduce la eficacia biológica de la parte afectada o de ambas, y de la misma manera, una interacción positiva la favorece.

El punto de partida para el estudio genético de la coevolución fue el modelo “gen por gen”,³ en el cual se considera por separado cada característica dentro de la coevolución. Este modelo fue muy útil para comenzar a desarrollar las propuestas de coevolución en genética, y ayudó a dilucidar el papel protagónico de la selección natural en este proceso. Sin embargo, este modelo se tornó rápidamente obsoleto, porque resulta evidente que una interacción coevolutiva no es el producto del cambio de un gen o de unos cuantos genes aislados, sino de un *pool* génico cuyas partes interactúan entre sí y también con factores extrínsecos.

Feeny²¹ realiza un interesante planteamiento mediante el modelo multigénico, que llevó a cuestionar el modelo de “gen por gen” de Thompson. Feeny explica la coevolución en términos bioquímicos, donde las sustancias químicas orgánicas e inorgánicas son las que actúan como mensajeros y condicionan un cambio coordinado entre las poblaciones. Si bien en los procesos de coevolución no existe un intercambio de material genético entre las partes involucradas (de acuerdo a la definición de Odum¹), los numerosos estudios de filogenia que se han efectuado entre poblaciones que se cree han

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.



coevolucionado hasta el estado fenotípico actual (estado clímax), mostraron que están estrechamente relacionadas, haciéndose evidente esta asociación en los cladogramas generados por diferentes análisis.^{13, 17, 22, 23} Feeny²¹ propone que el mecanismo de interacción entre las distintas partes es meramente bioquímico. Para fundamentar su propuesta, ofrece como ejemplo la interacción de plantas e insectos en condiciones de herbivoría, donde la planta es afectada negativamente por el herbívoro (o el parásito, en algunos casos), lo cual reduce su eficacia biológica; esto obliga a la planta a cambiar su metabolismo y a producir químicos tóxicos para los atacantes, frente a los cuales éstos reaccionan y se reduce la eficacia biológica de la población, pero una fracción de mutantes son resistentes a tales tóxicos y son los que resultan seleccionados favorablemente.^{8, 22}

Se plantea que la interacción a nivel químico provoca una asociación cada vez más estrecha entre las partes involucradas, y a partir de ello se distinguen interacciones químicas de niveles primario y secundario. Las interacciones de nivel primario son aquellas que influyen directamente en la eficacia biológica de la parte contraria, y las de nivel secundario las que influyen indirectamente (como la atracción de enemigos naturales del predador¹⁰). Este proceso genera paulatinamente mayor especificidad, de ahí que no es extraño que los insectos participantes en un proceso de este tipo sean monofágicos u oligofágicos.⁵ El componente bioquímico de la interacción puede ocurrir en dos niveles: primero, a nivel de reconocimiento del hospedero y, segundo, a nivel de sustancias venenosas. La parte contraria es capaz de reaccionar en estos dos ni-



veles, adquiriendo resistencia o por medio de estrategias de desintoxicación, sin embargo, un “ataque” químico muy fuerte puede ocasionar la ruptura del proceso coevolutivo.²¹

La teoría bioquímica de la coevolución considera que la mutación y la recombinación genética son los factores preponderantes de adaptación y selección, a corto y mediano plazo; asimismo, plantea que tales factores propician la selección recíproca al crear “islas químicamente defendidas”,²¹ las cuales se entienden como grupos discretos de poblaciones bioquímicamente “compatibles”, que pueden interrelacionarse sin verse afectadas por la barrera de los químicos de defensa. Esta teoría además propone que una mayor competencia y territorialismo²⁰ entre los individuos de una de las partes, producirá una mayor especificidad en la relación coevolutiva; sin embargo, el grado de asociación depende de la relación costo-beneficio para ambas poblaciones.

Si bien la teoría bioquímica da muchas luces sobre el mecanismo molecular de la coevolución, no explica la dinámica del proceso en términos genéticos lógicos. Para comprender bien el proceso que ocurre a nivel genético, también tiene que tomarse en cuenta el factor biogeográfico. Para ser partícipes en un proceso coevolutivo, las poblaciones forzosamente deben coincidir en un mismo ámbito geográfico; a su vez, el entorno debe ofrecer las condiciones adecuadas para propiciar una geografía en mosaico³ —la cual genera, por su parte, algo parecido a un aislamiento geográfico necesario para desencadenar la coespeciación. A partir de lo anterior, se distingue la asociación por descendencia y la asociación por colonización.²³ En la asociación por descendencia, la historia natural de las especies involucradas coincide en un ámbito espacio-temporal, mientras que en la asociación por colonización, no.

La posibilidad de una coevolución entre dos o más especies está limitada por el ámbito geográfico³ relacionado con la diversidad de especies,² y se ha observado que este proceso —al menos inicialmente— tiene un comportamiento similar al de la deriva genética; ésta causa una fuerte fluctuación de las frecuencias génicas (puesto que es un proceso de selección dependiente de la frecuencia de los alelos), que a la larga tiende a reducir el lastre génico de las poblaciones y ocasiona el establecimiento de polimorfismos discretos intrapoblaciones, es decir, se reduce la variación. Ambas partes se ven afectadas por una especialización por selección.⁸ A este fenómeno

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.





de reducción de variación asociado a la selección se le conoce como *paradoja de la variación*,⁴ puesto que la selección normalmente tiende a aumentar o, por lo menos, a mantener la variación, pero en este caso la variación se reduce por la presión selectiva del conjunto. Las respuestas coevolutivas entre los organismos involucrados son bidireccionales, van de A a B y de B a A,⁸ y generan una “estrategia evolutiva estable”² relacionada con la optimización de la interacción para aumentar al máximo la eficacia biológica.

PAPEL DE LA SELECCIÓN NATURAL EN EL PROCESO COEVOLUTIVO

La selección natural es una fuerza que no puede mejorar indefinidamente a las especies y, de igual manera, su intervención en los procesos coevolutivos conduce a una cumbre o punto de equilibrio estable (que en ecología se conoce como estado clímax). Pero éste es un equilibrio dinámico (en constante cambio), puesto que la capacidad de respuesta de la evolución se ve limitada por factores de coacción funcional. En ellos, un carácter depende del otro y generan combinaciones incompatibles de cambio, las cuales retardan o anulan el proceso de adaptación. En el caso de la coevolución, la selección actúa con los mismos parámetros sobre todas las partes.⁴

Se puede entender de diferente manera el papel de la selección en el proceso coevolutivo, de acuerdo al “blanco” sobre el que ésta actúa. Para este efecto se reconocen varios niveles de acción de la selección natural:

- Selección individual: es la que se realiza al nivel de la eficacia de cada individuo (especie), aporta al incremento gradual de mejoras, y busca la cúspide de la superficie adaptativa (conjunto de adaptaciones que llevan a una máxima eficacia biológica).
- Selección de grupo: es la que actúa al nivel de un conjunto de individuos relacionados y toma en cuenta los fenómenos de migración, extinción, fijación de alelos, etcétera.
- Selección de especies: funciona al nivel de procesos de extinción y especiación causados por las diferentes respuestas de la contraparte coevolutiva.
- Selección de ecosistemas: las asociaciones de las poblaciones en ecosistemas reducen la probabilidad de extinción y aumentan la de dispersión, ya que las especies se benefician recíprocamente dentro de la homeostasis del ecosistema. Se



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

considera al ecosistema como un “superorganismo” hecho de especies mutuamente coadaptadas que le confieren más ventajas en relación con las especies individuales.

La coevolución se basa, entonces, en un proceso de selección de grupo –ya sea al nivel de grupos pequeños, de especies o de ecosistemas– y forma una organización más compleja que hace frente a la selección de los componentes de manera conjunta.

El efecto de la selección entre un grupo de poblaciones relacionadas se puede medir por medio de las tasas de cambio morfológico y las tasas de cambio taxonómico. Las tasas de cambio morfológico (o fenotipo) son las más usadas por su directa relación a la adaptación; sin embargo, la mayoría de los problemas con los que ha tropezado la ecología –cuando pretende explicar la coevolución– surgieron por basarse



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

exclusivamente en ese parámetro, y no se había encontrado explicaciones lógicas para muchos casos porque no se conocía el trasfondo genético de la interacción.⁴

INTERRELACIÓN GENÉTICA-ECOLOGÍA EN LA COEVOLUCIÓN

Por los modelos vistos anteriormente y el razonamiento lógico efectuado con base en ellos, se ha demostrado que no es posible separar el aspecto genético de la ecología ni el ecológico de la genética, pues ambos componentes establecen una interrelación muy estrecha que se manifiesta a nivel de fenotipos y de interacciones ecológicas. Por ello, estos dos factores no son susceptibles de ser analizados aisladamente ni considerados por separado. Bajo esta óptica, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- En coevolución no se puede hablar de un componente dominado y un componente dominante, pues ambos participan de igual forma en el proceso, aunque con respuestas diferentes.



- El proceso de coevolución no responde a adaptaciones lamarkianas (adaptaciones dirigidas); el mecanismo genético se sustenta en la mutación y cambio aleatorio, y solamente los cambios ecológicamente benéficos (en relación con la respuesta de la otra población coevolucionante) serán los que definan el camino hacia un estado más favorable (entendido tanto en función al balance costo-beneficio, como a la eficacia biológica).

- La coevolución no sucede a nivel de genes ni de células ni siquiera de individuos, sino a nivel de poblaciones e involucra a todos los factores genéticos y ecológicos de las mismas.

- La genética y la ecología pueden entenderse bajo un modelo de causa y efecto.

CONCLUSIONES

Si bien el proceso de coevolución como mecanismo para la especiación —e incluso como parte de la evolución— sigue siendo cuestionado y discutido por las diferentes corrientes de científicos, en la actualidad existe un mayor respaldo a esta teoría gracias a la genética.

El proceso de coevolución representa un caso complejo de selección natural recíproca y dependiente de la frecuencia génica entre dos o más poblaciones. Es un proceso aleatorio y ecológicamente muy complicado, pero no es un proceso obligatorio en la naturaleza.

Se han planteado varias teorías y desarrollado distintos modelos para tratar de explicar la coevolución en función de genes (el modelo gen por gen y el modelo multigénico) y con relación a interacciones bioquímicas. Cada uno de estos modelos por sí solo no abarca la verdadera dimensión del proceso coevolutivo, pero una interrelación entre ellos puede proporcionar una buena aproximación.

El papel de la genética en la coevolución debe ser considerado conjuntamente con el aspecto ecológico, puesto que la vinculación entre estas dos disciplinas es muy estrecha y permite entender el contexto de este fenómeno.

REFERENCIAS

- ¹ Odum, E., *Ecología: Peligra la vida*, Editorial Interamericana, México, 1995, p. 192.
- ² Roughgarden, J., The theory of coevolution, en Futuyma y Slatkin (editores), *Coevolution*, Sinauer Associated Publishers, Massachusetts, 1983, pp. 33-64.



³ Thompson, J., *The coevolutionary process*, University of Chicago Press, Chicago, 1994, pp. 203-218.

⁴ Slatkin, M., Genetic background, en Futuyma y Slatkin (editores), *Coevolution*, Sinauer Associated Publishers, Massachusetts, 1983, pp. 14-32.

⁵ Jolivet, P., *Insects and plants: parallel evolution and adaptations*, 2a. ed., Sandhill Crane Press, Florida, 1992, pp. 157-163.

⁶ Fontúrbel, F. y Mondaca, D., Coevolución insecto-planta en la polinización, *Revista estudiantil de Biología*, 1 (1), 2000, pp. 18-27.

⁷ Achá, D., Coevolución del virus de la inmunodeficiencia humana y resistencia a drogas antiretrovirales, documento inédito, 2001.

⁸ Feisinger, P., Coevolution and pollination, en Futuyma y Slatkin (editores), *Coevolution*, Sinauer Associated Publishers, Massachusetts, 1983, pp. 282-292.

⁹ Fontúrbel, F., Rol de la coevolución planta-insecto en la evolución de las flores cíclicas en las angiospermas, *Ciencia Abierta* (<http://cabierta.uchile.cl>), 17, 2002.

¹⁰ Paré, P. y Tumlinson, J., Plant volatiles as a defense against insect herbivores, *Plant Physiology*, 121, 1999, pp. 325-331.

¹¹ Simonet, P., Navarro, E., Rouvier, C., Reddell, P., Zimpfer, J., Dommergues, Y., Bardin, R., Combarro, P., Hamelin, J., Domenach, A., Goubière, F., Prin, Y., Dawson, J. y Normand, P., Coevolution between *Frankia* populations and host plants in the family *Casuarinaceae* and consequent patterns of global dispersal, *Environmental Microbiology*, 1 (6), 1999, pp. 525-533.

¹² Ashen, J. y Goff, L., Molecular and ecological evidence for species specificity and coevolution in a group of marine algal-bacterial symbiosis, *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (7), 2000, pp. 3024-3030.

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

¹³ Percy, D., Origins and host specificity of legume-feeding psyllids (*Psyllioidea*, *Hemiptera*) in the Canarian Islands, <http://taxonomy.zoology.gla.ac.uk/~dpercy/psyllids.htm>, University of Glasgow, 2000.

¹⁴ Pfunder, M. y Roy, B., Pollinator-mediated interactions between a pathogenic fungus, *Uromyces pisi* (*Pucciniaceae*), and its host plant, *Euphorbia cyparissias* (*Euphorbiaceae*), *American Journal of Botany*, 87 (1), 2000, pp. 48-55.

¹⁵ Brewer, S., Short-term effects of fire and competition on growth and plasticity of the yellow pitcher plant, *Sarracenia alata* (*Sarraceniaceae*), *American Journal of Botany*, 86 (9), 1999, pp. 1264-1271.

¹⁶ Leger, R., Screen, S. y Shams-Pirzadeh, B., Lack of host specialization in *Aspergillus flavus*, *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (1), 2000, pp. 320-324.

¹⁷ Weiblen, G., Phylogenetic relationships of functionally *Dioecious ficus* (*Moraceae*) based on ribosomal DNA sequences and morphology, *American Journal of Botany*, 87 (9), 2000, pp. 1342-1357.

¹⁸ Darwin, C., *El origen de las especies*, Planeta Agostini, Barcelona, 1992, pp. 57-79.

¹⁹ Ehrlich, P. y Raven, P., Butterflies and plants: a study of coevolution, *Evolution*, 18, 1965, pp. 586-608 (citado en Odum, ver referencia 1).

²⁰ Dodson, C., Coevolution of orchids and bees, en Gilbert y Raven (editores), *Coevolution of animals and plants*, University of Texas Press, 1975, pp. 91-99.

²¹ Feeny, P., Biochemical coevolution between plants and their insect herbivores, en Gilbert y Raven (editores), *Coevolution of animals and plants*, University of Texas Press, 1975, pp. 3-15.

²² Futuyma, D., Evolutionary interactions among herbivorous insects and plants, en Futuyma y Slatkin (editores), *Coevolution*, Sinauer Associated Publishers, Massachusetts, 1983, pp. 207-231.

²³ Wiley, E.O., Siegel-Causey, D., Brooks, D.R. y Funk, V.A., *The complete cladist: a primer of phylogenetic procedures*, University of Kansas, Special Publication, 19, 1991, pp. 113-115.

Francisco Fontúrbel, Departamento de Ingeniería Ambiental, Escuela Militar de Ingeniería, La Paz, Bolivia. fonturbel@yahoo.es; Carlos Molina, Unidad de Limnología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. camoar6088@hotmail.com



© **Patricia Aridjis**, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

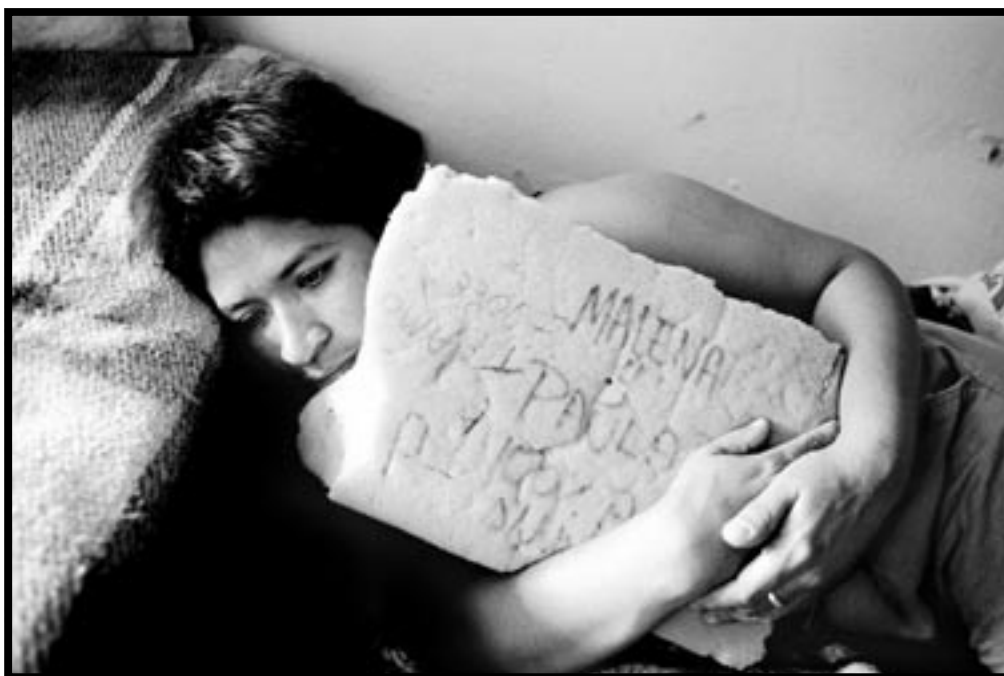
El ambiente, MÁS ALLÁ DE LA naturaleza

Miguel Fernando
Pacheco Muñoz

Las propiedades semánticas de una palabra cambian de época en época; su significado depende de las teorías o ideologías en las que participe discursivamente, así como de las disciplinas o áreas del conocimiento donde se aplique. Las palabras no tienen dueño ni una frontera delimitada pues viajan a través del tiempo, del espacio y las culturas; su significación es producto de la historia particular de cada palabra y las palabras, en sí mismas, son tejedoras de historias.

Cuando nos enfrentamos a lo nuevo, nos vemos obligados a crear términos o bien, a resignificar las viejas palabras para poder definirlo; Paul K. Feyerabend menciona que al intentar describir y comprender fenómenos y teorías nuevos debemos recurrir a las formas de hablar existentes, pero éstas tienen que ser deformadas, mal empleadas y forzadas para aprehenderlos, y añade: “sin un mal uso constante del lenguaje no puede haber ni descubrimiento ni progreso”.¹

Así la palabra “ambiente” posee en la actualidad muy diversos significados, cuyas diferencias radicales en interpretación han provocado múltiples debates. Tradicionalmente se entiende por ambiente el conjunto de elementos abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) y bióticos (organismos vivos) que integran la biosfera. Esta definición no explica cabalmente las complejas interacciones que se generan entre el ser humano y su entorno en el mundo contemporáneo.



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

Filósofos, economistas, sociólogos y educadores, al hacer suyas las problemáticas que surgen de la relación del hombre y la naturaleza –cada uno desde la perspectiva de su propia disciplina– han ampliado y modificado el significado de ambiente. Con el paso de los años se ha sustituido en el lenguaje especializado el término de “medio ambiente” por el de “ambiente”; este cambio es el resultado de la sustitución de una noción biologicista por otra, de carácter interdisciplinario, emanada del interés de las ciencias sociales por la crisis ecológica actual. Esta tendencia ha enriquecido conceptualmente la noción de “ambiente” al ampliar su radio de acción de un estado referente a lo “natural”, a una interacción y un proceso “sociedad-naturaleza”.

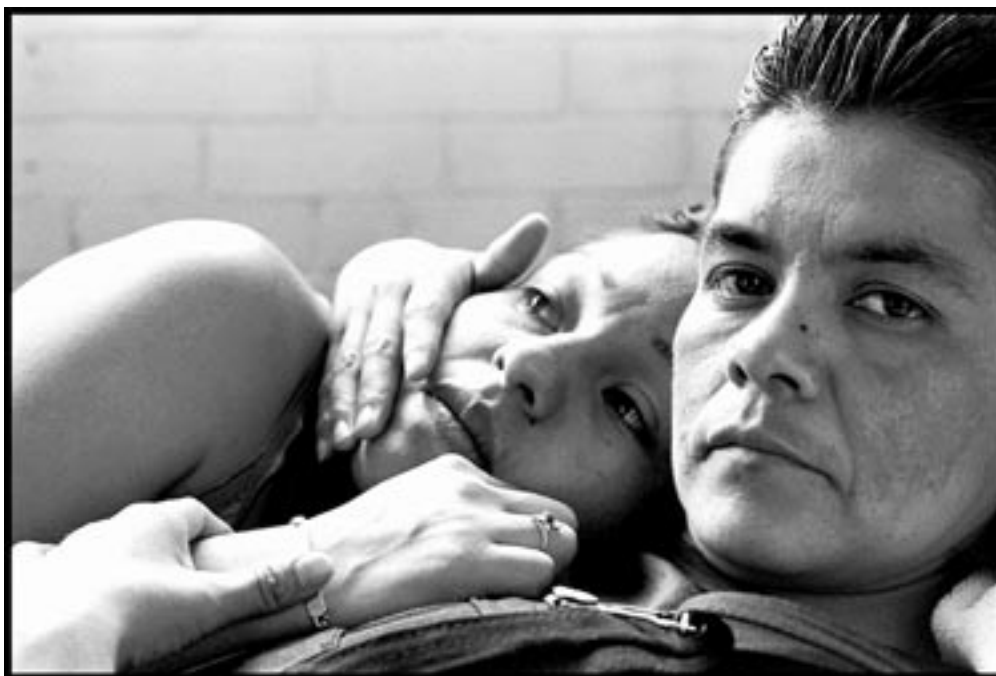
En Latinoamérica la palabra “ambiente” posee especial relevancia dado que permite incluir bajo el mismo término, el conocimiento tradicional acerca de la naturaleza, la riqueza de los mitos indígenas y la valoración de la vigencia e importancia de la tecnología y de las formas de apropiación autóctonas de los recursos locales. Asimismo, esta amplitud conceptual nos sirve como base para oponernos a las tendencias extremas que proponen una conservación a ultranza y niegan los derechos de quienes viven en espacios naturales.

Como menciona Augusto Ángel Maya, el ambiente no consiste exclusivamente en el medio que nos rodea y la

suma de las especies o a las poblaciones biológicas en él contenidas. El ambiente representa además una categoría social constituida por comportamientos, valores y saberes; el ambiente –como una totalidad compleja y articulada– está conformado por las relaciones dinámicas entre los sistemas natural, social y modificado.²

El hombre “construye” al esclavo, al elector, al consumidor, puesto que estas categorías no existen ni se originan como tales en la naturaleza. Así, la idea de ambiente es una construcción: el manejo de un bosque, un área natural protegida, una parcela o una gran ciudad, son constructos. Distinguir entre lo natural y lo cultural –y por lo tanto modificable– es sumamente importante, ya que de este modo podemos tomar conciencia de que no estamos condenados a ser esclavos ni a sufrir las mismas relaciones económicas y políticas por siempre, así como tampoco debemos asumir la destrucción de la naturaleza como destino inexorable.

Actualmente el concepto “ambiente” engloba la multi-causalidad de los procesos físicos, sociales, económicos, tecnológicos y biológicos, al igual que la complicada red de interrelaciones y los múltiples niveles espacio-temporales en las que éstas se dan. Con este criterio, Enrique Leff nos señala que “naturaleza” representa una categoría, por lo cual no puede concebirse como el objeto de estudio exclusivo de una ciencia, ya que cada disciplina incorpora lo natural a su cuerpo teórico de diferente manera. Para la biología, por ejemplo,



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

los procesos naturales aluden a los fenómenos biológicos (la fisiología de las plantas, la evolución de las especies, la organización de los ecosistemas). Pero desde que la naturaleza es afectada por la cultura, lo natural se incorpora a la historia, para constituir objetos de estudio totalmente diferentes: modo de producción, trabajo, valor, renta, fuerzas productivas.³

El concepto “ambiente” no significa lo mismo para la biología, ecología, antropología, economía, política, sociología, y no es el objeto de estudio exclusivo de ninguna de ellas ni de ninguna ciencia social o natural, sino un campo problemático de la realidad. Las ciencias de la naturaleza e incluso las ciencias ambientales no pueden por sí mismas responder a la problemática ambiental, porque carecen de referentes teóricos para abarcar lo cultural, lo social y lo político. Esto no quiere decir que las ciencias naturales no apoyen ni resulten esenciales para resolver la crisis ambiental contemporánea, quiere decir que no pueden hacerlo solas si los problemas se originan en la articulación de la naturaleza y la cultura; es precisamente ahí donde se encuentran las soluciones, en la articulación.

A partir de lo anterior, uno puede aventurarse a afirmar que el ambiente no tiene un objeto de estudio, sino muchos que se relacionan –o articulan– unos con otros por pertenecer a un campo problemático. Como lo explica Hugo Zemelman, un campo problemático es: “aquel espacio de articulación de niveles de realidad donde se da la posibilidad de la construcción de variados objetos de estudio, para dar cuenta del

movimiento de interacción y contradicción de los elementos básicos que los constituyen”.⁴ Esto significa que el objeto de estudio en el caso del ambiente no se agota al definir una investigación o intervención exclusivamente desde el contexto ecológico, sino que debe plantearse la complejidad de la relación entre la sociedad y la naturaleza.

Para trabajar con situaciones donde confluyen múltiples procesos, niveles y dimensiones (como el ambiente, que funciona como una totalidad organizada o sistema complejo), hay que abordarlas más allá de la limitada suma de las perspectivas particulares de los distintos especialistas; es necesaria la construcción de una interpretación sistémica que ofrezca propuestas integradas, de corte interdisciplinario y transdisciplinario.

En esta construcción compleja, la importancia del cambio semántico no es –como se podría suponer– menor; las palabras son poderosas porque nos permiten construir lo real. Dependiendo de lo que entendamos por ambiente, se establece cómo y desde dónde se analiza un problema y se le propone solución; esto provoca diferencias en la manera en que se “lee y escribe” el ambiente, por ejemplo, en una práctica educativa concreta, en una metodología de investigación o en una estrategia de resolución de un determinado problema. De ahí que la construcción del campo de estudio no es simplemente



© **Patricia Aridjis**, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

una abstracción, sino un componente esencial de toda labor de intervención y acción.

La historia de la gestión ambiental y sus acciones legislativas o educativas es reciente; por su parte, el campo ambiental ha alcanzado un importante desarrollo teórico que no siempre ha sido revisado con suficiente profundidad, debido a la propia urgencia y dinámica de la problemática ambiental. Los que trabajamos en un ámbito científico-técnico (ingenieros, biólogos, químicos, etc.) nos beneficiaremos mucho si nos acercamos al ambiente desde las ciencias sociales y el conjunto de nociones y conceptos que se están construyendo alrededor de esta categoría.

En el discurso latinoamericano, el “ambiente” no se refiere exclusivamente a la ecología, pues su campo de intervención es más parecido a una filosofía o una sociología que a una rama de las ciencias naturales. Esto refleja un mayor estudio y entendimiento de la problemática; el potencial de desarrollo o los procesos de degradación en una región, por ejemplo, no dependen exclusivamente de una determinada estructura ecosistémica, sino también de los procesos productivos, la organización social y el imaginario ambiental de un pueblo en un momento histórico particular.

La crisis ambiental del mundo contemporáneo es el resultado de las contradicciones en el interior de esa complejidad, de las contradicciones entre la sociedad y la naturaleza. Para entender lo ambiental en toda su extensión es preciso partir del análisis de la interrelación entre historia, cultura y naturaleza.

Bajo esta perspectiva, la historia puede concebirse como el pensamiento y acción del hombre sobre la naturaleza. El ecosistema condiciona muchos de los aspectos culturales de un pueblo, pero a su vez la cultura, para constituirse, transforma la naturaleza. Actualmente, por desgracia, la transformación cultural de la naturaleza ha llegado hasta un punto donde la naturaleza modificada revierte esa alteración y la dirige hacia la destrucción de los sistemas culturales. La adaptación de la especie humana al medio no se realiza únicamente por medio de herramientas, sino también por los elementos de organización social y de cohesión simbólica que se derivan de dicho proceso; por tanto, la ecología no puede abarcar los dominios de la historia, el orden simbólico y social, las relaciones de poder, los intereses sociales, la lucha de clases y la organización de la cultura.⁵

Además de la complejidad de las definiciones mencionadas hasta ahora, existe la percepción pública de lo ambiental.



Las personas ven o identifican el ambiente de distintas formas, es decir, lo entienden y lo piensan con un énfasis diferente. Para algunos, el ambiente se asocia con la naturaleza a la cual debemos apreciar y respetar. Para otros, la cuestión ambiental representa un problema que requiere solución; para ellos, el ambiente se vincula particularmente con factores relativos a la contaminación, deforestación, extinción. En otros casos, el ambiente se traduce como recurso a preservar o fuente de satisfactores humanos, circunscrito en una dimensión económica y de orientación totalmente práctica.

La concepción de ambiente que estudia a los seres vivos –incluyendo al hombre– sólo desde el punto de vista físico-biológico y define a la naturaleza como fuente inagotable de recursos a explotar o bien, como agotable espacio a preservar, puede considerarse una postura simplista, muy elemental. En sentido opuesto, una visión compleja de ambiente sería aquella donde el conocimiento y la acción aplicados a los procesos biológicos estén indisolublemente ligados a los procesos sociales e históricos.⁶ En ella, la noción de ambiente se explicaría a través del desarrollo de las fuerzas productivas y de los diversos intereses de los hombres, las sociedades o países. Adoptando este punto de vista podríamos observar

el valor de una redefinición del concepto de ambiente –y la importancia de este cambio de significado– si la adaptación de nuestras sociedades al medio no se lleva a cabo sólo por medio de instrumentos; esta reinterpretación permitiría el surgimiento de nuevas herramientas conceptuales y metodologías de intervención. Por ende, las ciencias y las técnicas deberían ir más allá del discurso sobre la naturaleza de orden biológico y ecológico, para incluir toda la complejidad de las relaciones que se establecen entre el hombre y la naturaleza, y poder proponer un discurso sobre el ambiente.

R E F E R E N C I A S

- ¹ Feyerabend, P.K., Tratado contra el Método, Tecnos, España, 2000.
- ² Ángel Maya, A., *Método histórico y medio ambiente*, Maestría en educación ambiental, Universidad de Guadalajara, Módulo II, Ambiente y Desarrollo, México, 1996.
- ³ Leff, E., *Ecología y Capital*, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM, Siglo XXI Editores, México, 1986.
- ⁴ Zermelman, H., *Uso crítico de la Teoría*, Colegio de México, Antrophos, 1988.
- ⁵ Maya, Á.A., *La fragilidad ambiental de la cultura*, Editorial Universidad Nacional, Colombia, 1995.
- ⁶ De Alba, A. y Viseca Arreche, M., *Análisis curricular de contenidos ambientales*, Ecología y Educación, coordinadora Teresa Wuest, CESU, UNAM, México, 1992.

Miguel Fernando Pacheco Muñoz, Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM. fpacheco68@hotmail.com

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.





© **Patricia Aridjis**, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

Las horas negras

Patricia Aridjis

—¿Qué harías si te robara? —me preguntó Natalia con cierta malicia.
—No lo harías —le respondí.
Al escuchar nuestra conversación, Juan Carlos, el hijo de cinco años de la interna gritó:
—¡No, mamá, no lo hagas porque te meten a la cárcel!
—La cárcel no existe —aseguró la mujer después de un breve silencio.
—¿En dónde está la cárcel? —le pregunté al niño en la celda de su madre.
—Allá fuera, donde están los policías —respondió señalando a la ventana.

CONVERSACIÓN CON NATALIA Y JUAN CARLOS EN
LA PRISIÓN DE MUJERES. TEPEPAN, CIUDAD DE MÉXICO, 2002.

Para realizar este trabajo fotográfico decidí permanecer por largas horas en el interior de algunos reclusorios para mujeres, principalmente en el Distrito Federal. Pensé que sólo así podría captar los sentimientos que rondan las celdas y los pasillos en esos lugares.

La soledad, el lesbianismo (como paliativo para las necesidades afectivas), la autoflagelación y el intento de suicidio, son heridas que, como bocas abiertas en las muñecas de las manos, piden atención. Las drogas para evadirse, la maternidad e incluso la solidaridad, son habituales. En la prisión, la vida está siempre limitada por torres, por celadoras, por puertas, y por horarios que definen las horas negras.

Mi compromiso encontró las palabras precisas para ser descrito mientras retrataba a una mujer en su celda. Ella me pidió que la fotografiara porque era la única forma de salir de ahí.

La cárcel de mujeres encierra cientos de historias tristes, historias de abandono, de maltrato, de amores incondicionales; son historias contadas una y otra vez como una letanía dolorosa que no se puede olvidar. Al entrar en la prisión, se recorre un largo túnel que conduce hacia un mundo casi en su totalidad femenino, un mundo sin colores vivos, sólo el beige y el azul marino de los uniformes. Un sello invisible sobre el antebrazo marca la diferencia entre los que van de visita por unas horas y las que se quedan por años, o las que simplemente nunca salen. “Llevo siete años, cuatro meses y dos semanas”; cuentas exactas, interminables. El tiempo transcurre lento y de pronto se convierte en años. Horas negras.

Hay niños que ahí nacieron y cuyos ojos nunca han visto otra luz más que aquella que atraviesa las rejas. Viven en el reclusorio pues no tienen quién se encargue de ellos fuera del penal. En ese caso, quedan bajo la custodia de las instituciones gubernamentales hasta que se cumple el periodo estipulado por la autoridad.

—¿Dulce, por qué vienes?

—Por daños a la salud.

—¿Cuántos años traes?

—Diez.

—¿Dónde te agarraron?

—En el aeropuerto.

—¿Con cuánto?

—Con dos kilos.

—¿Cuál es tu causa?

—Mi mamá... María.

Estas son las palabras que memorizó Dulce, una niña de cuatro años que nació cuando su madre estaba presa.

Al cruzar la reja, el valor de los objetos se transforma, ya sea porque no están permitidos (como es el caso de las tijeras, los perfumes en botella de vidrio, los espejos), o porque debe pagarse mucho por ellos (sin dinero es casi imposible disfrutarlos). Cosas tan básicas como un jabón, un desodorante o un rollo de papel de baño se encarecen en exceso. Una tarjeta telefónica se convierte en oro molido, pues el teléfono es una de las pocas formas de mantener contacto con el exterior. Otra manera la representan las visitas, pues en este ámbito constituyen un hecho especial, son aire fresco, libertad que



viene de afuera. La visita familiar es otro modo, aunque es común que las reclusas sean olvidadas por su pareja y a veces hasta por sus familiares más cercanos.

En este lugar, la cama se gana. Cada celda es habitada por alrededor de quince internas, a pesar de que su extensión no rebasa los nueve metros cuadrados. Algunas duermen en el piso, incluso debajo de las pocas camas. Conforme las reclusas se van yendo, las de mayor tiempo obtienen la cama. Otra forma de gozar de este privilegio es con dinero, pues alguien que por antigüedad logró su lugar puede venderlo a quien acaba de llegar.

EL AMOR EN TIEMPOS DE ENCIERRO

Con frecuencia el amor lo proporciona la persona más próxima, la que entiende, la que está en la misma situación, la que no abandona (al menos ahí). Silvia y Claudia se conocieron en el reclusorio, se enamoraron y según lo permiten las circunstancias, se han amado día y noche, pues la intimidad en prisión es algo muy público. Silvia cumplió su sentencia al poco tiempo de establecer esta relación, mas no aguantó estar afuera sin la que ella considera es el amor de su vida. Fue entonces cuando planeó simular un robo. Le pidió a un amigo que la “acusara” para que pudiera ingresar de nuevo al reclusorio Oriente y estar otra vez con Claudia.





Adriana Patricia Aridjis Perea. PREMIOS, BECAS Y MENCIONES: Programa de Fomento a Proyectos y Coinversiones Culturales, CONACULTA-FONCA, noviembre 2002. Concurso de Fotografía Antropológica, ENAH, primer lugar. IV Bial de Fotoperiodismo, primer lugar en fotorreportaje, 2001. Premio de Periodismo Cultural Fernando Benítez, mención honorífica, 1999. VII Premio de Ensayo Fotográfico Casa de las Américas en Cuba, mención honorífica, 1998. Beca para Jóvenes Creadores, FONCA, con el proyecto *Fiestas de la clase media, ritos sociales* (1994-1995). Primera Bial de Fotoperiodismo, mención honorífica, 1994. Concurso de Fotografía Antropológica, ENAH, segundo lugar, septiembre 1994. Concurso Revista *Fem*, segundo lugar, 1987. EXPOSICIONES INDIVIDUALES: *Las horas negras*, Centro de la Imagen, 2004. Galería Blu, León Guanajuato, 2003. Universidad Autónoma Metropolitana, 2003. *Pena máxima*, El Chopo, 2001. *De oficios y beneficios*, UNAM, 1991. *Trampa de luz*, Casa del Lago, Galería Nacho López, 1990. Ha participado en más de 20 exposiciones colectivas. Ha publicado en la principales revistas, periódicos del país y en más de 8 libros. pataridjis@prodigy.net.mx



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

Conservación y restauración cerro Zapotecas

Margarita
Tlapa Almonte

México constituye una de las zonas en las que más se concentra la diversidad biológica, debido a sus características físicas, localización geográfica, variedad de climas y a una compleja historia tanto geológica como biológica. Por todo ello, la riqueza de su flora y fauna proporciona una gran variedad de ambientes naturales que deben conservarse por su capacidad para generar beneficios ecológicos, sociales y económicos, siempre y cuando sean utilizados con criterio para el desarrollo sustentable.

En nuestro país existen grandes problemas con respecto a la conservación de la biodiversidad de nuestros bosques y selvas, ya que están sujetos a la deforestación, incendios, contaminación y explosión demográfica que origina un crecimiento urbano acelerado.

Aunado a esto, México pasa por una crisis que se refleja en muchos aspectos: la pobreza, la marginación generalizada y el poco apoyo al campo. Nos amenaza ya la falta de agua, el cambio global del clima y la escasez de elementos suficientes para sostener al país que todos quisiéramos ver. Todo ello es generado por severas limitaciones políticas, sociales y económicas que impiden que las áreas naturales protegidas cumplan adecuadamente con su objetivo, que es el de prestar bienes y servicios ecológicos para la conservación de los recursos naturales. Esta situación pone en riesgo las expectativas de desarrollo económico y social, y dificulta lograr un nivel de vida digno en las comunidades; además, la pérdida de la diversidad biológica tendría consecuencias ambientales desastrosas.

EL ZAPOTECAS

El estado de Puebla no es la excepción, ya que también la entidad es víctima de los fenómenos que causan graves problemas en el ambiente. Un ejemplo lo es el cerro Zapotecas, localizado en el municipio de San Pedro Cholula, importante ciudad turística poseedora de una historia legendaria y costumbres milenarias.

El cerro Zapotecas se encuentra en el centro del municipio de San Pedro Cholula, a 1.5 km de la ciudad y se levanta a una altura de 2300 msnm; cuenta con una extensión de 510 hectáreas y colinda con siete localidades, las cuales son: San Cristóbal Tepontla, San Gregorio Zacapechpan, San Francisco Coapa, San Juan Tlautla, San Sebastián Tepalcatepec, San Diego Cuachayotla y San Agustín Calvario.

Zapotecas: esta voz es una pluralización española de la palabra “zapotecatl”, que deriva de “zapotl”, que quiere decir zapote y “ecatl”, que significa viento; al unir las dos palabras quiere decir “el que es originario de Zapotlan (o lugar de los zapotes)”. En este sitio se veneraba a “Zapotlatonan” (Nuestra Madre del lugar de los zapotes), la cual era la deidad principal de la medicina.

Dicho nombre fue dado al cerro por los habitantes del pueblo de Tepontla, descendientes de los zapotecas de Oaxaca, los cuales tenían aptitudes para el arte de la música. Este pueblo, según se afirma, tuvo una fase zapoteca en Cholollan antes de la teotihuacana (suposición que es repetida por varios residentes del lugar), hecho que se deduce debido a que se han encontrado en la zona fragmentos aislados de barro gris de Monte Albán. Algunos investigadores piensan



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

que en el año 700 D.C. ocurrió una inundación en el oeste y sur de la Pirámide de Cholula, lo que hizo que la población se mudara hacia el cerro; algunos otros creen que la ciudad fue violentamente conquistada y que sus habitantes se refugiaron allí después de la caída de Cholula, y que al concluir la fase Teotihuacán IV se inició una gran actividad urbanística, incluyendo la construcción de templos, residencias, juego de pelota, terrazas, sistema de control de agua y posiblemente la delineación de parcelas de cultivo.

El cerro Zapotecas se considera actualmente el pulmón del municipio, ya que cuenta con algunas áreas boscosas que son apreciadas por habitantes de dicho lugar; además de ser un área de recarga de mantos acuíferos, es también un lugar de recreación para los habitantes de Cholula. Fue declarado reserva ecológica estatal el 8 de abril de 1994 para la conservación de sus recursos naturales. Sin embargo, su deterioro ha ido aumentando en los últimos años por el fuerte impacto que los problemas ambientales originan. La contaminación excesiva del aire por la gran cantidad de humo generado por las ladrilleras existentes en el área; la contaminación del suelo y agua por residuos sólidos de tiraderos de basura, escombros y diversos materiales provenientes del municipio y de rellenos sanitarios; la sobreexplotación de bancos de material (arcilla para la elaboración de ladrillo y teja) y la deforestación para dedicar terrenos a la agricultura son los principales problemas que enfrenta esta reserva ecológica. Es la parte que corresponde a San Pedro Cholula la que se encuentra francamente en condiciones deplorables y constituye un foco enorme de contaminación.

Las campañas de reforestación también han jugado un papel relevante en la destrucción de la flora del cerro ya que, aunque bien intencionadas, las reforestaciones se han llevado a cabo con especies arbóreas exóticas de rápido crecimiento, que no son características de las comunidades naturales ni de estas altitudes, lo que ha generado manchones en el bosque

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.





© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

con estructuras y composiciones diferentes a las del lugar. Han ocurrido incendios periódicos, provocados, que debilitan el arbolado natural y eliminan la vegetación nativa, ocasionando vulnerabilidad a las plagas, a los agentes climáticos (como las precipitaciones torrenciales y el viento) y el crecimiento de vegetación secundaria. Aunado a esto, la antena de televisión que instaló en la reserva ecológica el Gobierno del Estado para su canal de televisión ha originado especulación de la tierra y planes para urbanizar el cerro, como consecuencia de la presión que ejerce el aumento de viviendas y habitantes en la zona de influencia por el crecimiento no planificado de los asentamientos humanos.

Aunque con el decreto debieran disminuir el deterioro y las alteraciones del ecosistema que han ocurrido por la destrucción rápida y violenta del cerro, esto no ha sucedido, debido a que no se respeta la zona y el gobierno no realiza las acciones tendientes a hacerla respetar.

Sin duda, la dimensión y complejidad de los problemas ambientales del cerro Zapotecas y de su área de influencia requieren de estrategias integrales que se vinculen bajo una misma visión, la preservación, protección y conservación de los recursos naturales que aún subsisten, la restauración del ecosistema deteriorado y la incorporación de un desarrollo sustentable para aprovechar los recursos naturales de la zona de influencia.

Antes de discutir las posibles alternativas de protección ambiental y ecológica del Zapotecas, es muy importante tener claras las metas y los objetivos para, de esta manera, plantear propuestas que permitan lograr una estructura bien organizada y tener una perspectiva más clara de los beneficios que se pueden lograr a corto, mediano y largo plazo. Las propuestas que se plantean se encuentran ya diseñadas para poder desarrollarlas; algunas de ellas están en proceso de análisis y diagnóstico para proponer una posible solución.

I. INVESTIGACIÓN Y MONITOREO DE LA VIDA SILVESTRE

Es importante realizar investigaciones básicas como:

- Inventario de la flora y fauna
- Inventario entomofaunístico
- Estudio ornitológico
- Estudio de reptiles

Por medio de trabajo de campo se efectuarán colectas e identificaciones taxonómicas para conocer la diversidad biológica del área. Además se realizará investigación aplicada para determinar procesos ecológicos como:

- Estudios etnobiológicos (etnobotánicos y etnofaunísticos) para identificar los usos tradicionales, actuales y potenciales que proporcionan los recursos naturales.
- Estudio de poblaciones y ecosistemas para determinar el comportamiento de las especies involucradas en el sistema que funciona como un todo.

Estos estudios se llevarán a cabo por medio de entrevistas a los habitantes del Zapotecas y de trabajos de investigación en campo y gabinete.

II. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA/REHABILITACIÓN ECOLÓGICA

GICA

Las acciones para intentar recuperar la principales funciones ambientales del ecosistema que permitan mantener la estabilidad de la conservación del suelo y su fertilidad, el ciclo hidrológico, así como la restauración del paisaje para hacerlo atractivo y salubre, son las siguientes:

- Análisis de propuestas para determinar cómo podría manejarse la basura y los rellenos sanitarios para resolver el problema de la contaminación por desechos sólidos de manera que no dañe el ambiente.

© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.



- Implementar un programa de reforestación utilizando especies nativas del cerro que resulten del inventario florístico y que sean potencialmente valiosas para nuestro propósito, programa que se puede llevar a cabo con el apoyo y en las instalaciones de la SAGARPA en lo referente a la propagación de árboles para la reforestación.

- Desarrollo de un banco de semillas de plantas nativas que aún no se tiene en la SAGARPA.

- Desarrollo de técnicas de propagación de árboles, arbustos y hierbas.

- Controlar la sobreexplotación de bancos de material (arcilla) por los fabricantes de ladrillo y teja.

- Rehabilitar el espejo de agua de Zerezotla.

- Identificar especies de fauna silvestre con el propósito de realizar actividades cinegéticas.

- Restauración/rehabilitación arquitectónica de inmuebles de tipo histórico (ex Rancho San Bartolomé, Rancho San Antonio y capillas anexas) que se encuentran en las faldas del cerro.

III. DESARROLLO SUSTENTABLE

Para el desarrollo sustentable del Zapotecas deben tomarse en cuenta no sólo los aspectos biológicos sino también los sociales. El reto radica en hacer del Zapotecas una reserva



ecológica verdadera, un lugar de recreación y que al mismo tiempo se logre un aprovechamiento sostenido de los recursos del cerro. Para lograrlo, es importante fortalecer la participación y colaboración social directa y dar a conocer la gravedad de la situación, de tal forma que se involucre a diferentes sectores para analizar, reflexionar e inducir al cambio de actitud necesario para la toma de decisiones, asimismo, para facilitar la obtención de recursos para atacar el problema.

De esta forma se podrá desarrollar una estrategia diversificada e integral para la transformación total o parcial del cerro Zapotecas y poder mantener la relación del ser humano con la naturaleza sin deteriorar su identidad, tradiciones, cultura, siempre y cuando nos adecuemos a la organización de las comunidades para conservar, manejar y aprovechar en forma sostenida y a largo plazo, los recursos naturales y mejorar así las condiciones de vida de los habitantes sin deteriorar el ambiente.

IV. INCORPORACIÓN DE PROPIETARIOS AL PROYECTO

Es importante incorporar directamente a los propietarios en el proceso de análisis, reflexión, solución y toma de decisiones, desde la planeación de proyectos hasta su ejecución, para

© **Patricia Aridjis**, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.





resolver el problema de deterioro del Zapotecas. Ellos son los que poseen el conocimiento empírico y la experiencia sobre el manejo de los recursos del área, conocimiento que ayudará en gran medida a la aplicación de diferentes actividades productivas y tecnologías tradicionales (hasta donde las condiciones ambientales lo permitan) con acciones de conservación de suelo, agua, flora y fauna, actividades que habrán de beneficiarse mutuamente y permitirán establecer un sistema de producción y manejo sostenido.

V. VINCULACIÓN

Debido al carácter y magnitud del proyecto, se requiere la vinculación de diferentes grupos civiles, instituciones y funcionarios del gobierno para promover la participación e inversión en los programas de conservación y manejo del cerro Zapotecas.

VI. EDUCACIÓN AMBIENTAL

Es importante desarrollar campañas y programas de educación ambiental con los propietarios, en las localidades que forman parte del Zapotecas, en las escuelas y con los habitantes de Cholula y de la región para invitar a reflexionar sobre el significado del deterioro que está sufriendo el cerro Zapotecas.

POSIBLES OPCIONES PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEL CERRO ZAPOTECAS

La propuesta que aquí se plantea considera diferentes opciones, relacionadas unas con otras y acordes con la realidad de los recursos naturales y económicos con que se cuenta. Cabe señalar que todas ellas involucran directamente a los propietarios y a aquellas personas interesadas en el uso, manejo y conservación del cerro Zapotecas.

También es importante hacer énfasis en que la propuesta y las opciones fueron elaboradas con base en un análisis que como conocedores del área hemos realizado; aún falta anexar las observaciones y propuestas que puedan plantear los propietarios del Zapotecas. Las opciones que proponemos son las siguientes:

1. CAPTACIÓN DE AGUA

Rescatar y mejorar las condiciones de captura de agua de los diferentes arroyos y escurrimientos, principalmente el espejo



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

de agua Zerezotla, o crearlos de manera artificial. Para esto se propone la adopción de técnicas que favorezcan la infiltración de agua y la captación de lluvia mediante la construcción de zanjas y/o represas, ya que de los escurrimientos de agua de lluvia depende el abastecimiento de agua a los poblados vecinos para satisfacer sus necesidades (tanto de uso doméstico como agropecuario), así como el efecto regulador sobre el clima de la región.

2. INTENSIFICAR LA PRODUCCIÓN Y CONTROLAR

LA EROSIÓN DEL SUELO

Se puede intensificar la producción siempre y cuando se tenga un enfoque ecológico para mantener lo mejor posible la estructura y funcionamiento original del ecosistema, lo cual se puede lograr mediante la aplicación de sistemas agrosilvopastoriles, es decir, terrenos que produzcan en forma sostenida durante todo el año. Considerando que se trata esencialmente de una agricultura de temporal, se plantea lo siguiente:

A) AGRICULTURA ALTERNATIVA

- Agricultura orgánica utilizando estiércol de vaca y burro, así como incorporación de abonos verdes y residuos agrícolas para acumular materia orgánica, regenerar la cubierta vegetal y obtener alta producción y diversidad de productos.

- Uso de semillas nativas para evitar la pérdida de material genético por la utilización de semillas mejoradas.

- Decremento de la labranza para la preservación del suelo, reducción del arado para formar eventualmente el estrato del suelo, mejorar el vigor del cultivo, disminuir los niveles de enfermedades y plagas, y retener nutrientes.

- Uso de cultivos múltiples: rotación de cultivos en un mismo campo y año; cultivos mixtos para incrementar la cobertura vegetal, en la estación de lluvias cultivos temporales; cultivos simultáneos o en secuencia en uno, dos o más años.

B) AGROFORESTERÍA

El objetivo de esta alternativa es el autoabastecimiento de algunos productos destinados al consumo, de aprovechar los terrenos en forma adecuada, de tener un mayor control de agroquímicos y agua que se utilizan en los mismos y de generar ingresos monetarios a través de la venta de excedentes o de la producción total de especies (combinando tierra, cultivos, árboles, arbustos, pastos, hortalizas, plantas medicinales y condimentos).

- Esta es una alternativa viable por la poca necesidad de abonos, porque es económicamente más barata, por la igualdad en distribución de requerimientos de labor, ya que reduce las necesidades de herbicidas, disminuye riesgos, aumenta la producción del cultivo, proporciona sombra y protección contra el viento, incrementa la habilidad de manejar sostenidamente la producción, favorece la estabilidad económica tanto para el autoabastecimiento como para la obtención de ingresos adicionales y amplía las oportunidades.

3. GANADERÍA

Es importante la producción de animales de traspatio (ganado ovino-caprino, porcino y aves de corral) ya que no se requieren instalaciones y tecnologías sofisticadas y puede mantenerse en pequeñas granjas familiares para obtener ingresos económicos adicionales.

4. ACTIVIDADES CINEGÉTICAS

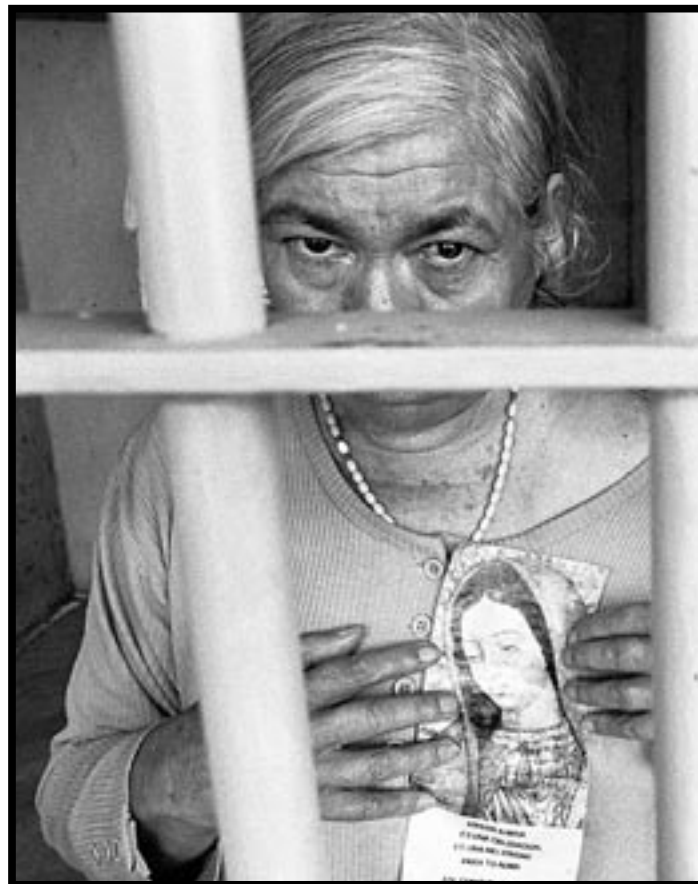
Para desarrollar este tipo de actividad es necesario tener un inventario faunístico para poder seleccionar las especies silvestres que serán candidatas y destinadas a la producción, así como especies introducidas de interés y que se adapten a las condiciones ambientales del lugar, como algunos mamíferos y ciertas aves, incluidas las aves canoras y las de ornato.

5. ACUACULTURA

Construcción de estanques rústicos para realizar actividades recreativas y deportivas como la pesca.

6. TURISMO ALTERNATIVO

Esta opción puede generar desarrollo económico periódico y adicional, así como social, utilizando los bienes y servicios



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

que proporcionan los recursos naturales, los cuales deben ser aprovechados para aumentar su valor y beneficiar a sus propietarios favoreciéndolos con igualdad de oportunidades, ya que serán ellos los empresarios de esta actividad, siempre y cuando se apoye a la conservación protegiendo y respetando el ecosistema, el paisaje y la vida silvestre.

Esta posibilidad debe adaptarse a las condiciones de los habitantes y del propio cerro Zapotecas, así como aprovechar la topografía del mismo. Para esto será necesario realizar un diagnóstico de sitios atractivos especiales de la zona, tanto naturales, arqueológicos, históricos y culturales. Se requerirá también elaborar la descripción, ubicación y zonificación para las diferentes actividades, teniendo en consideración los distintos tipos de visitantes, ya sea individuales, especiales o en grupos.

Las actividades que podrían desarrollarse en el Zapotecas y que además pueden vincularse entre sí para poder disfrutar y apreciar la naturaleza son:

- Actividades de aventura: deportivas como ciclismo y motociclismo de montaña.
- Actividades de recreación: paseos, caminata, campismo, cabalgata.
- Actividades de educación ambiental e interpretación ambiental: visitas guiadas para diferentes niveles escolares, así como para el público en general.



- Actividades de investigación.

Otras actividades adicionales, como:

- Observación de vida silvestre: flora (botánica, etnobotánica, dispersión de semillas y polinización), fauna diurna (aves, mamíferos y mariposas), fauna nocturna (mamíferos grandes y medianos), identificación de huellas y rastros, comportamiento animal (alimentación, territorialidad, reproducción), simbiosis hombre-animal-plantas, evolución.

- Observación del proceso y manejo de reforestación: siembra de semillas y plantas.

- Técnicas de manejo sustentable, artesanías, uso de plantas y animales, preparación de alimentos.

- Fotografía de la naturaleza y paisajista.

- Leyendas.

- Visitas culturales a las diferentes localidades, lo que implica visitar templos en las fechas en que se celebran festividades ceremoniales y patronales, talleres artesanales (de ladrillos y cohetes, de chaquira), bandas de música, conjuntos musicales, inmuebles arqueológicos y arquitectónicos.

Para lograr la realización de todas estas actividades es indispensable elaborar un mapa para trazar y definir rutas, caminos, senderos, veredas, sitios y recorridos destinados a usos específicos y para los diferentes tipos de visitante, así como contar con los servicios mínimos de higiene (sanitarios, depósitos de basura), transporte y hospedaje.

En conclusión, este proyecto invita a reflexionar sobre el grave deterioro que presenta la Reserva Ecológica Cerro Zapotecas. Pretendemos despertar inquietud y convocar a convertir el cerro Zapotecas en una verdadera reserva ecológica que funja como tal en la realidad (y no sólo como membrete) y que la declaratoria de reserva ecológica funcione como una herramienta de conservación de recursos naturales.

Para que la reserva funcione debe estar bien organizada y ser productiva, debe promover la educación ambiental y propiciar el desarrollo sustentable que sirva como punta de lanza para conservar los recursos naturales y acelerar el avance económico sin amenazar la biodiversidad y sin deteriorar el cerro Zapotecas. Pensamos que de no lograrse una solución adecuada en un plazo perentorio, tendremos muy pronto un problema difícil de resolver.

El intercambio de experiencias y el enriquecimiento de este proyecto resultarán muy interesantes. Esta propuesta pretende contribuir al desarrollo del cerro Zapotecas como verdadera reserva ecológica estatal, tal como lo proclaman sus propietarios, protectores y conservadores.

B I B L I O G R A F Í A

- Calva, J.L., El papel de la agricultura en el desarrollo económico de México: retrospectiva y prospectiva, *Problemas del desarrollo*, 118 (30), UNAM, México, 1999.
- Díaz, O.J.I.F., Hacia una conceptualización del desarrollo sustentable, *Cotidiano 70*, julio-agosto, 1995.
- Flores, O. y Pérez, P., *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo*, UNAM/CONABIO, México, 1994.
- Gobierno del estado de Puebla, *Ley de protección al ambiente y equilibrio ecológico del estado de Puebla*.
- Harris, J.M., World agricultural futures: regional sustainability and ecological limits, *Ecological economics*, 17, 1996.
- Jordan, C.F., *Conservation. Replacing quantity with quality as a goal for global management*, Ed. John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- Olivera, M. y Reyes, C., *Los choloques y cholultecas*, 1978.
- Peterson, T.P., Boletín informativo, Consejo Consultivo de Desarrollo Urbano, Ecología y Centro Histórico, Puebla, 1997.
- Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (editores), *Biological diversity of México. Origins and distribution*, Oxford University Press, Oxford.
- Rzedowski, J., *Vegetación de México*, Limusa, México, 1978.
- CONABIO, *La diversidad biológica del país: estudio de país*, CONABIO, México, 1998.
- Smith, F., Biological diversity, ecosystem stability and economic development, *Ecological Economics*, 16, 1996.
- UDLAP, *Notas mesoamericanas*, 1987, Puebla, México, 1987.

mtlapa_almonte@hotmail.com



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

La biofísica, ¿ciencia básica o aplicada?

Eduardo

González Jiménez

Valery Ivanovich

Poltev

Algunas preguntas comunes que surgen después de impartir alguna conferencia de ciencia básica a un amplio público no especialista, son las siguientes: ¿para qué nos sirve la ciencia?, ¿necesito la física? Entonces, a partir de ellas, podemos reflexionar: ¿cuál es el valor aplicado a la ciencia?

Las ciencias se pueden dividir en puras (fundamentales) y aplicadas. Las ciencias fundamentales estudian el mundo que nos rodea –incluso a nosotros mismos– aparentemente sin ningún beneficio inmediato para el hombre. Se investiga porque hacerlo es sencillamente interesante. Sólo por el hecho de que somos humanos nos interesa conocer y entender las cosas, pues la curiosidad es una característica inherente a nuestra especie. Por otro lado, las ciencias aplicadas nos ayudan en aspectos determinados de nuestra vida, por ejemplo, para producir más mercancías, o que éstas sean más baratas y de mejor calidad. De esta forma tenemos que las computadoras más económicas y más potentes son el resultado del avance en muchos campos de la ciencia aplicada.

Cada nuevo conocimiento fundamental que se agrega a los anteriores, amplía más las posibilidades de aplicación. Quizá este conocimiento pueda parecer inútil hoy, pero seguramente servirá el día de mañana, o en diez o más años será de provecho para las futuras generaciones. Cada hallazgo que realiza la ciencia pura, implica a su vez el progreso de la ciencia aplicada.

Los descubrimientos efectuados por la física y su uso en la tecnología durante el siglo pasado alteraron definitivamente a la sociedad y su modo de vida. Sin embargo, en la actualidad, el empleo de las aproximaciones físicas (leyes físicas) en los problemas biológicos tiene



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.



efectos todavía más importantes y de mayor trascendencia para el hombre, que los cambios provocados en la tecnología por los hallazgos de la física. En este contexto, la biofísica como una ciencia pura, fundamental, también es una ciencia aplicada.

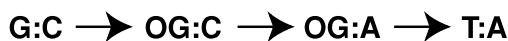
Para entender a los sistemas vivos, la comprensión de la naturaleza y de las características de lo vivo es esencial. Tal saber es el propósito de la biología y de sus múltiples ramas, y se han logrado grandes éxitos en este sentido. No obstante, llegó un momento en que el desarrollo de la biología se tornó imposible sin la utilización de las aproximaciones físicas y del arsenal de los conocimientos físicos acumulados, es decir, sin la biofísica.

Consideremos varios aspectos concretos dentro del área que nos ha ocupado por un buen tiempo: la biofísica molecular; ésta abarca la física de los eventos y de los procesos de las entidades biológicas a nivel molecular.

Una de las preguntas más relevantes en la ciencia es: ¿qué es la vida?, que conduce, a su vez, a otras interrogantes, por ejemplo: ¿qué distingue lo vivo de lo muerto?, ¿cuáles son los rasgos particulares de lo vivo?; sin la intervención de la física es imposible aventurarse a responder este tipo de cuestiones. La vida es una secuencia ordenada de una gran cantidad de transformaciones moleculares, entre ellas se encuentran los procesos genéticos, es decir, los relativos a la transferencia y expresión de la información genética. Tales procesos son muy importantes, ya que el propósito mayor de la vida es procurar la continuidad y diversidad de la misma. Todos estos mecanismos en los organismos vivos, y en cada célula, suceden bajo la dirección del ADN. alguna perturbación de la estructura del ADN o la presencia de errores en las dinámicas moleculares relacionadas con el ADN puede llevar al quebrantamiento de las funciones vitales de la célula, incluso del organismo, o bien conduce a la aparición de enfermedades.

Uno de los padecimientos más peligrosos y más comunes es el cáncer, que es producido por desórdenes en el funcionamiento del ADN; el envejecimiento también es el resultado de la acumulación de alteraciones en los procesos biomoleculares.¹ Tanto factores externos (en el ambiente) como internos (en el propio organismo) provocan variaciones en la estructura del ADN, por ejemplo, la radiación o la presencia en el medio de compuestos dañinos causan la modificación química del ADN. El cambio ocurre principalmente en las bases nucleotídicas (adenina, guanina, citosina y timina), lo cual transforma las propiedades de los fragmentos de ADN; esto afecta a los procesos de la vida que son controlados por los fragmentos. Para entender las características de dichos cambios, es necesario conocer los procesos físicos de las interacciones entre las moléculas que constituyen estos sistemas.

Una de las alteraciones más peligrosas que puede ocurrir es la formación de la base modificada 8-oxiguanina, en la cual, dentro de la doble hélice, un par guanina:citosina (G:C) es sustituido por un par adenina:timina (A:T), tal como se muestra en el esquema:



El entendimiento de fenómenos como éstos nos permite sugerir cómo prevenir o simplemente, cómo disminuir las repercusiones de tales desórdenes. La comprensión de los mecanismos moleculares se traduce en una aplicación.

Por otro lado, para curar el cáncer se usan preparados químicos que interaccionan con el ADN. Todos ellos son insuficientemente selectivos y producen efectos secundarios, por eso la búsqueda de nuevos medicamentos anticáncer que no provoquen secuelas es un problema relevante. Uno de los medicamentos empleados actualmente es la actinomicina D (AMD), un antibiótico antitumoral utilizado en el tratamiento de tumores altamente malignos. Un cambio dirigido con métodos físicos² en



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.



la estructura de este compuesto, basado sobre el estudio de sus interacciones con el ADN, permitirá abrigar esperanzas en lograr diseñar un nuevo medicamento contra el cáncer.

Otro ejemplo de las investigaciones de los biofísicos que tienen una aplicación práctica es la relativa a las interacciones de la cafeína con el ADN. Todos nosotros, y continuamente, ingerimos cafeína, sustancia presente en el contenido de las bebidas como café, té, chocolate y refrescos de cola. La tomamos porque la cafeína estimula el sistema nervioso. En muchos laboratorios se estudia la influencia de la cafeína sobre el organismo, pero las conclusiones sobre su beneficio o perjuicio frecuentemente no coinciden. Algunos ven a la cafeína como un posible medicamento contra el cáncer (sólo habría que evitar o disminuir sus efectos dañinos colaterales). Otros consideran a la cafeína como una droga parecida a la cocaína o la morfina, pero más débil.

La molécula de la cafeína es estructuralmente parecida a las moléculas de las bases purínicas del ADN (adenina y guanina), como se muestra en la Figura 1. Y puesto que ya se tienen dilucidados algunos mecanismos de interacción de las bases normales y modificadas (como la 8-oxiguanina), entonces se puede utilizar la misma metodología y aplicarla a las interacciones de la cafeína con el ADN para estudiar la posible influencia de la cafeína en los ácidos nucleicos y, en consecuencia, sobre los procesos genéticos.³ Además de esto,

la cafeína interacciona con muchos medicamentos, dentro de ellos con la mencionada actinomicina D, estableciéndose una competencia por los sitios de unión del ADN. Una descripción detallada de las interacciones de la cafeína con el ADN y con otras moléculas permitirá dar recomendaciones sobre el uso de varios compuestos durante el tratamiento del cáncer.

En este sentido, el biofísico utilizando las herramientas de que dispone (las leyes físicas y los métodos físicos), produce conocimiento básico que se convierte en aplicado. A partir de sus resultados, el físico sugiere el diseño de ciertas moléculas con determinados grupos atómicos con propiedades que inhiben o facilitan los procesos en el ADN, el químico los valora y puede sintetizar dichas moléculas, posteriormente el biólogo evalúa las propiedades biológicas de ellas, que seguidamente el médico podría aplicar en humanos. En este ejemplo se expresa claramente el carácter multidisciplinario del trabajo del biofísico. Y de esta forma podemos explicar la utilidad de la ciencia pura y en particular de la biofísica, mostrando cómo ésta puede ayudar a mejorar la vida del hombre.

B I B L I O G R A F Í A

- ¹ González, E., Bases moleculares del envejecimiento, *Elementos*, 37:7, 2000, pp. 17-20
- ² Veselkov, A.N., y Davies, D.B., *Anti-cancer drug design: biological and biophysical aspects of synthetic phenoxazone derivatives*, SEVNTU press, Sevastopol, 2002, p. 259,
- ³ Poltev, V.I., Grokhina, T.I., Deriabina, A. y González, E., Caffeine interactions with nucleic acids. Molecular mechanics calculations of model systems for explanation of mechanisms of biological actions, *Theo. Chem. Acc.*, 2003, v. 110, pp. 466-472.

Eduardo González Jiménez y Valery Ivanovich Poltev,
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, BUAP.
gonzalez@cfm.buap.mx

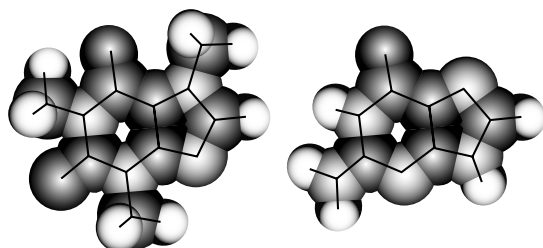


FIGURA 1. Estructura de las moléculas: cafeína (izquierda) y guanina (derecha)



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

Algunas ideas

 **Gerald Edelman**

sobre el darwinismo neuronal

Irene
Ripalda

El cerebro funciona con relación al contexto; no es un sistema lógico, como una computadora, que procesa sólo información programada ni produce resultados preordenados, como un reloj. Es un sistema de selección que, por medio del reconocimiento de patrones, ordena las cosas de manera siempre nueva. Este repertorio de selecciones es el que confiere unicidad a cada individuo, explica la habilidad para hacer poesía o música, y justifica las diferencias que surgen del aparato biológico cuerpo-cerebro. No existe una cartografía singular para crear la mente sino una inmensa pluralidad de posibilidades. En un sistema lógico, la novedad y la variación imprevista son a menudo consideradas como ruido, mientras que en un sistema de selecciones, tal diversidad provee la oportunidad para una selección favorable.

En este ámbito, Darwin planteó la idea clave al intentar explicar la variación dentro de poblaciones biológicas a través de la selección natural. El cerebro consta de una población de cientos de billones de células, cifra que rebasa por mucho la cantidad de estrellas en el cielo. Las posibles conexiones que estas células pueden efectuar excede el número de partículas contenidas en el universo. La corteza del cerebro consta aproximadamente de treinta billones de neuronas, lo cual implica la capacidad de realizar al menos un millón de billones de conexiones. Si se contara una conexión por segundo, se requerirían 32 millones de años para terminar de enumerar el total de conexiones.



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

Durante la transición de los reptiles a las aves y los mamíferos, hace cerca de 300 millones de años, el sistema tálamocortical comenzó a desarrollarse a partir de unas pocas colecciones de neuronas que con el tiempo aumentaron vastamente en número. El tálamo se encuentra localizado en el centro del cerebro, tiene el tamaño de un dedo pulgar y releva las señales provenientes de todos los sentidos, excepto del olfato, hacia la corteza cerebral, la cual, a través de múltiples asas y vías, le “contesta” al tálamo. Competir por una ventaja en el medio ambiente incrementa la extensión y la fuerza de ciertas sinapsis, o conexiones neuronales, conforme al “valor” previamente decidido por la supervivencia evolutiva. La variancia en esta circuitería neuronal es muy grande. Ciertos circuitos son seleccionados con preferencia sobre otros debido a que son los mejores para responder ante las exigencias del entorno. En respuesta a una compleja constelación de señales, el sistema es autoorganizativo, de acuerdo con el principio de población de Darwin. La actividad de esta amplia maraña de redes da lugar a la conciencia a través de las “interacciones reentrantes”, las cuales ayudan a organizar la “realidad” en patrones. Las redes tálamocorticales fueron seleccionadas durante la evolución debido a que proporcionan a los humanos, la habilidad de hacer discriminaciones de un orden superior y de adaptarse de una mejor manera a su

hábitat. Tales discriminaciones de orden superior confieren la habilidad de imaginar el futuro, de recordar explícitamente el pasado, y de ser consciente de tener conciencia. Debido a que cada asa se cierra y completa su circuito por medio de las vías que van del tálamo a la corteza, y viceversa, el cerebro puede “completar” y proporcionar conocimiento más allá de aquel derivado de oír, ver u oler de manera inmediata. Las discriminaciones resultantes son conocidas en filosofía como *qualia*. Estas discriminaciones dan cuenta de la intangible conciencia del humor, y definen cuán verde es lo verde y cuán caliente es lo caliente. En su conjunto, las *qualia* componen lo que llamamos conciencia. Sin embargo, afirmar que el hombre es sólo una bolsa llena de moléculas es un reduccionismo ridículo, inaceptable tal como lo es creer que la conciencia surge de fuerzas espectrales. No existe un dominio dualístico cartesiano inaccesible para la ciencia. El cerebro está en el cuerpo, y el cuerpo está inmerso en su medio ambiente. Este trío opera en una forma integrada. No se puede separar la actividad y el desarrollo del cerebro del contexto o del cuerpo. Hay una interacción constante entre lo que es recordado y lo que se prevé y lo que es imaginado y lo que actualmente está sucediendo en los sentidos. Se sabe que esta interacción es posible gracias a las interacciones reentrantes entre el tálamo y la corteza. Primero, diversas señales entran en el cerebro a través del llamado núcleo dinámico. Más tarde, se pueden “ver” imágenes con los ojos cerrados; se están usando los



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.

mismos circuitos, sólo que en una más amplia, general y única manera, quizá estimulado por un recuerdo placentero o por una idea ambiciosa. El cerebro puede hablarse a sí mismo y el cerebro consciente puede usar sus discriminaciones para planear el futuro, narrar el pasado y desarrollar un yo social. ¿Es conciencia sinónimo de espíritu? Se puede llamar alma a la singularidad de cada conciencia individual, si así place, no obstante existe un problema que a nadie le gusta enfrentar: cuando el cuerpo se va, el individuo también se va.

Por otra parte, considerar el universo en términos de sistemas biológicos no le resta significado a los sistemas de valores. La supervivencia a través de la selección natural ejerce una influencia muy fuerte sobre los sistemas de valores del cerebro. Sobrevivir a lo largo de la evolución significa que los sistemas de valores están inclinados hacia la vida. Puede parecer que el universo no tenga mayor sentido si la cosmogonía es de naturaleza científica más que religiosa, pero al final no hay escapatoria al hecho de que, en la evolución de los sistemas vivientes, hay una tendencia implícita. ¿Es eso un valor moral? No. Los valores morales surgen más tarde, con las interacciones sociales a través del lenguaje, cuando los grupos humanos, de común entendimiento, formulan “derechos” para los miembros de su sociedad, conforme establecen el sentido de “el otro”.

No existen genes del altruismo en los humanos, como tampoco ningún tipo de determinismo genético. Nada de eso

tiene sentido. No hay manera de construir derechos en ausencia de valores biológicos ya desarrollados. Parafraseando a Hume, el filósofo, “deber” no viene de “ser”. Pero, en cualquier caso, los seres humanos construyen sus “deberes” sobre la base de la actividad cerebral.

Ahora bien, con relación a la posibilidad de infundir conciencia a la tecnología a través de la inteligencia artificial puede afirmarse que la lógica puede ser “impartida” y los robots pueden ser programados. Pero eso no es conciencia, la cual no puede emerger de información predefinida, sino más bien de la habilidad de autoorganizarse, de reconocer patrones, de aprender y de desarrollarse en sí misma. Aun si un día existieran artefactos conscientes, no serían como el ser humano. No tendrían la circuitería neuronal ni el cuerpo que posibilita al hombre ser lo que es. Podrán haber máquinas inteligentes algún día, incluso quizás conscientes, pero no serán humanas. Y es en esas razones en las cuales subyace el valor del hombre.

Gerald Edelman recibió el premio Nobel de fisiología y medicina en 1972. Es uno de los más destacados expertos mundiales en el cerebro y la conciencia, y es fundador del Neurosciences Institute en La Jolla, California. Su libro más reciente es *Wider than the sky: the phenomenal gift of consciousness*, Yale University Press, 2004.

Armas, gérmenes y acero,

un gran avance en la teoría de la historia

Mauricio
Schoijet

Guns, germs and steel: the fates of human societies de Jared Diamond (Norton, 1997) es un libro extraordinario. Es sabido que las especulaciones filosóficas que buscaban encontrarle un sentido a la historia comenzaron en el siglo XVIII con filósofos idealistas como Vico, Herder y Hegel. En la actualidad difícilmente podemos aceptar ideas vagas como la de que una sociedad domina a otras porque tiene más conciencia de sí. En ese siglo también apareció la gran obra de Montesquieu sobre *El espíritu de las leyes*, en la que se describían diversos modos de gobierno en varios países y épocas y se esbozaba un determinismo geográfico, es decir, la idea de que factores físicos como el clima y el suelo influían sobre las formas políticas de diferentes sociedades. A mediados del siglo siguiente y principios del XX, Herbert Spencer y Francis Galton trataron de integrar una teoría de la sociedad con la biología, planteando la inferioridad biológica de los socialmente inferiores e intentando explicar la sociedad desde una teoría de la herencia que hoy sabemos errónea. A partir de las ideas de Galton se formuló una pseudociencia, que sirvió para fundamentar teóricamente al racismo que acompañó a la expansión imperialista sobre Asia, África y América Latina.

El materialismo histórico tal como fue expresado por Marx y Engels es una parte esencial de una teoría de la historia, pero se refiere sólo a las sociedades de clase. No da respuesta a una pregunta fundamental, la de la manera en que diversas etnias fueron pasando de ser sociedades sin clases a sociedades de clases, caracterizadas además por la existencia del Estado. En su *Origen de la familia, la propiedad privada y el Estado*, Federico Engels responde parcialmente, inspirado en la obra del antropólogo estadounidense Lewis Morgan, al plantear que el auge de la familia patriarcal, de la propiedad privada y del Estado está ligado al crecimiento de las fuerzas productivas, y por consiguiente a la posibilidad de acumular bienes.



Hay también una teoría hidráulica de formación del Estado, propuesta por Karl Wittfogel, según la cual el Estado habría surgido por la necesidad de tener un grupo especializado en la construcción y mantenimiento de obras de riego. Además de que hubo sociedades en que surgió el Estado sin que se construyeran obras de este tipo, Diamond niega que haya sido el caso en las que sí lo hicieron, ya que los datos arqueológicos sugieren que las obras hidráulicas fueron construidas mucho tiempo después de la formación de los Estados. En el siglo xx hubo considerables avances en el esclarecimiento de varias temáticas dentro del materialismo histórico, por autores como Antonio Gramsci, Louis Althusser y Nikos Poulantzas, pero éstos se refieren a las sociedades de clase. Además se escribieron libros de historia claramente inspirados en esta corriente, por ejemplo los de Christopher Hill y E.P. Thompson. Pero no hubo adelantos importantes en lo que se refiere a la transición a las sociedades de clase, hasta que apareció el libro de Jared Diamond. Éste no solamente representa un gran salto adelante en la construcción de una teoría de la historia, sino que constituye un progreso en la integración de las ciencias, puesto que muestra la influencia de las condiciones naturales, es decir, biogeográficas, en la constitución de las sociedades de clase. Es también un demoledor alegato contra el racismo. En tanto que en el ámbito académico hay pocos defensores abiertos del racismo, la historia, tal como la han escrito hasta ahora los historiadores, no es incompatible con una interpretación racista. Ésta supone que los europeos tendrían una esencia que los habría hecho más dispuestos al desarrollo del conocimiento y de las innovaciones tecnológicas, lo que les permitió no solamente “descubrir” a América y Australia sino someter a los aztecas, incas y africanos y colonizar los vastos territorios ocupados por etnias menos abiertas a la innovación. Los poco innovadores o renuentes a aceptar innovaciones generadas en otras sociedades habrían sido dominados por los innovadores. Diamond niega categóricamente esta visión, postulando que las diferencias entre civilizados y atrasados no tienen relación con ninguna característica intrínseca, sino que los innovadores fueron favorecidos por ciertas características biogeográficas que jugaron un papel determinante en el desarrollo de sus sociedades.

El libro de Diamond no da respuesta a todas las preguntas, y el mismo autor acepta sus limitaciones, planteando que no presenta una teoría acabada sino sólo un programa de investigación, y que no es fácil explicar 13,000 años de historia

de todos los continentes en 400 páginas. Pero sí responde a algunas cuestiones fundamentales respecto a cuáles fueron las razones por las que algunas sociedades se desarrollaron de manera más temprana; a las diferentes velocidades de difusión de varias innovaciones que tuvieron un papel principal en la historia, tales como la agricultura, la ganadería, la metalurgia, la escritura y la formación del Estado, así como de la distinta resistencia a varias enfermedades, que en última instancia permitió a algunas sociedades dominar, exterminar o asimilar a otras; y a las razones por las que algunas sociedades de formación más tardía y aisladas de otras sociedades de clase, como las de los aztecas y los incas, sucumbieron fácilmente ante la conquista española. El avance primordial habría sido la aparición de la agricultura, que produjo la sedentarización. La agricultura permite por una parte un crecimiento de la población fuera de escala con la de las sociedades de cazadores-recolectores; por otra, la diferenciación de clases, con formación de una clase de guerreros, paralela a la del Estado. La domesticación de animales no sólo permitió aumentar sustancialmente la disponibilidad de alimentos, sino que jugó un papel importante en el terreno militar, como es el caso del caballo, esencial para los ejércitos. Las sociedades agrícolas pudieron desplazar o aniquilar a los cazadores-recolectores, tanto por la fuerza del número como por contar con organizaciones para ejercer la violencia, provistas además de mejores armas, apoderándose de las tierras aptas para la agricultura y marginando a los segundos hacia áreas semidesérticas.

La innovación de Diamond está en considerar los datos de la biogeografía, en cuanto a la presencia en diversas áreas geográficas de especies vegetales y animales domesticables, y los de la geografía, en cuanto a contigüidad de ecosistemas, y existencia de barreras geográficas y ecológicas a la difusión de determinados cultivos y especies ganaderas. El desarrollo temprano de la civilización en Eurasia, a partir del surgimiento de la agricultura hace 10,500 años y de la ganadería quinientos más tarde en la Mesopotamia o Media Luna Fértil (actualmente Irak, parte de Siria y Turquía) y su posterior difusión hasta alcanzar a las Islas Británicas cinco mil años más tarde, en la misma época en que la primera aparecía en Perú, la Amazonia, Mesoamérica, y un poco después en el Este de Estados Unidos, se explican por el mayor número de especies animales y vegetales domesticables y por la colindancia de ecosistemas similares a lo largo de miles de kilómetros en Eurasia, continente que tiene un eje Este-Oeste sin barreras geográficas ni ecológicas importantes.

En las Américas no sólo había menos especies disponibles, sino que existían estas barreras, derivadas en parte de que el continente tiene un eje Norte-Sur, lo que habría obstaculizado la difusión de especies entre Mesoamérica y las regiones andinas de Sudamérica. El desierto de Sahel en África jugó ese mismo papel. En Australia, la gran extensión semidesértica del norte y centro impidió la difusión de la agricultura desde la gran isla de Papúa-Nueva Guinea hacia las regiones fértiles del sur. Aquellas sociedades que fueron las primeras en desarrollar la agricultura y la ganadería, fueron también las primeras en que apareció el Estado, hace seis mil años en la Mesopotamia, cuatro mil en China, dos mil quinientos o dos mil en América.

Diamond incorpora además un adelanto fundamental en la integración de la historia humana con la historia biológica, que fue precedido por estudios de historiadores sobre el impacto de la conquista europea sobre la población indígena de las Américas, en términos del papel del ganado en la transmisión de enfermedades, la coevolución de humanos y microorganismos y las consiguientes hecatombes que los europeos causaron en las Américas, Australia y Oceanía al desatar epidemias de patologías a las que ellos se habían vuelto resistentes. Sobre este tema recomiendo el excelente libro de William H. Mc Neill (*Plagues and peoples*, Anchor Press, Garden City, New York, 1976).

Por supuesto que no faltará algún historiador que pretenda descalificar al libro de Diamond considerándolo una nueva forma de determinismo geográfico. El determinismo geográfico del siglo XVIII era una forma de materialismo vulgar, pero en este caso tenemos una visión mucho más compleja: el ecosistema no es el determinante, sino su relación con otros ecosistemas y con barreras ecológicas. Diamond aplica de manera brillante varias ciencias, como la biogeografía, la microbiología, la epidemiología, la lingüística y la arqueología, en una investigación histórica de las líneas generales de la historia de sociedades que no nos dejaron documentos. El trabajo de Diamond es un caso típico de investigación transdisciplinaria, es decir, de una temática que requiere ser necesariamente abordada desde varias ciencias, hecho por un *outsider* que invadió de una manera sumamente exitosa el terreno de los historiadores, ya que nunca tuvo una formación escolarizada en historia. Es profesor de fisiología y además hizo investigaciones biogeográficas.

Hay que mencionar que esta falta de formación se nota en el tratamiento de dos temas muy importantes, el de las razones por las cuales a pesar de contar con los medios



necesarios para enviar flotas a explorar el océano Índico en el siglo XV, China nunca intentó conquistar a otros países como Indonesia, Sri Lanka o Madagascar; y el del papel del individuo en la historia, que trata en unas pocas páginas en el epílogo. Diamond atribuye el desinterés de los chinos a factores coyunturales, sin incluir elementos históricos, excepto la existencia de luchas por el poder en la corte imperial. Por razones aún no aclaradas, China experimentó un proceso de decadencia, y creo que habría que estudiar la historia china con más detalle para encontrar una explicación más plausible.

El tratamiento del papel del individuo en la historia se centra en la actuación de Hitler, y es más que desconcertante. Parece desconocer completamente la obra de Georgi Plejánov, quien escribió un importante ensayo sobre este tema. Pero además, Diamond no menciona para nada la historia europea anterior al ascenso de Hitler al poder. ¿Pudiera ser que considera que esta historia previa no tiene mayor importancia, que el régimen nazi y la Segunda Guerra Mundial se explican solamente por la perversidad y carisma de un personaje en particular, y que ni el triunfo de la Revolución Bolchevique en Rusia, ni la frustrada revolución proletaria en Alemania en 1918-23, ni la histeria que la primera revolución desató en la burguesía de muchos países hubieran tenido ninguna relación con el auge del fascismo? Cae en una forma de irracionalismo desenfrenado, totalmente contradictorio con las cuatrocientas páginas anteriores. La otra posibilidad sería que un autor que muestra un conocimiento fenomenal de las ciencias ya mencionadas sea totalmente ignorante de la historia del siglo XX.

El caso de Diamond sugiere que hay un gran vacío en la práctica de los historiadores, porque si en efecto un *outsider* pudo hacer una contribución tan importante, fue porque éstos no estaban interesados en generar teorías totalizadoras, sino que suponían que su tarea se limitaba a analizar o comentar documentos que les permitieran describir ciertas sociedades o aspectos de éstas en determinadas épocas históricas. Es posible también que muchos se muestren escépticos ante una tentativa de tal envergadura, es probable que esto sea producto de condicionamientos ideológicos que operen como obstáculos epistemológicos cuyo efecto es limitar la búsqueda de explicaciones universales para conformarse con historias de menor alcance. Sea como fuere, Diamond ha realizado una hazaña intelectual, y tarde o temprano los historiadores tendrán que definirse sobre su validez.

**Mauricio Schoijet, Departamento El hombre y su ambiente,
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
schoijet@prodigy.net.mx**

La interacción *Gluconacetobacter diazotrophicus*-caña de azúcar como modelo para el estudio de la transmisión de bacterias benéficas

Jesús Muñoz Rojas

La transmisión de microorganismos benéficos ha sido poco estudiada, pero se trata de un fenómeno importante que podría proveer el éxito competitivo de los miembros involucrados en una interacción benéfica (ej. bacteria-planta) en un ambiente determinado. Muchas bacterias endófitas son capaces de estimular el crecimiento de las plantas, pudiendo otorgar un efecto más directo sobre ellas comparado con el que ofrecen las bacterias rizosféricas. En el presente trabajo se propone a la interacción de *G. diazotrophicus*-caña de azúcar (endófito-planta) como modelo para el estudio de la transmisión de bacterias benéficas. Se discuten cuales son las formas de transmisión conocidas para *G. diazotrophicus* en sus diferentes hospederos, así como el efecto que ejercen las prácticas agrícolas actuales y algunos factores ambientales sobre la transmisión y establecimiento de ésta bacteria en la caña de azúcar.

LAS BACTERIAS BENÉFICAS

Cuando se habla de transmisión de microorganismos, podemos imaginar bacterias, virus u hongos patógenos que amenazan la vida del hombre o la productividad de cultivos, pero pocas veces nos detenemos a pensar en la existencia de microorganismos benéficos para los diferentes hospederos.

La transmisión de microbios –desde un hospedero infectado hasta uno susceptible– es una manera de asegurar la vida de la progenie. Sin embargo, la vía para alcanzar el hospedero correcto es variable. En algunos casos es por contacto directo entre hospederos; en otros, es a través de vectores, o del suelo, donde los microorganismos yacen bajo formas resistentes, y en casos extremos, explorando nuevos hospederos (hospederos alternativos). La transmisión de microorganismos benéficos ha sido poco estudiada. Se trata de un fenómeno importante porque podría proveer el éxito competitivo tanto del microorganismo como del hospedero en un ambiente determinado. Por ejemplo, algunas bacterias de los géneros *Rhizobium* y *Frankia* son capaces de fijar nitrógeno de la at-

mósfera cuando se encuentran en simbiosis con leguminosas y árboles actinorrízicos, respectivamente. En estas simbiosis, las bacterias transfieren el nitrógeno fijado (combinado) a las plantas y a cambio reciben de ellas fotosintato (fuente de carbono), que utilizan para generar energía. Algunas bacterias benéficas del género *Pseudomonas* (por ejemplo, *P. fluorescens*) que viven en la zona influenciada por los exudados de la raíz de las plantas (rizósfera), son capaces de inducir una respuesta de defensa en las plantas, que sirve de protección contra microorganismos patógenos. Bacterias de los géneros *Burkholderia* y *Azospirillum*, entre muchas otras, producen sustancias secuestradoras de hierro (sideróforos), con lo cual privan de hierro a otros microorganismos patógenos.

Las bacterias que viven en tejidos internos de las plantas sin causar un daño aparente (endófitas) son capaces de estimular el crecimiento de las plantas. Se piensa que las bacterias endófitas, al estar en una asociación íntima con las plantas, podrían tener efectos benéficos de mayor trascendencia en

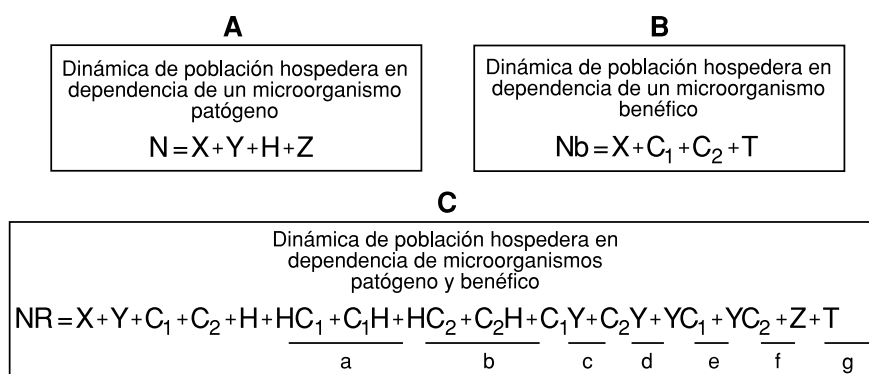


FIGURA 1. Descripción hipotética de la dinámica de población hospedera en función de una bacteria patógena y/o una bacteria benéfica. X = Población de hospederos no infectados (susceptibles); Y = Población de hospederos infectados por un patógeno; H = Población en donde las bacterias patógenas están en estado de latencia (bacterias patógenas no activas); Z = Población de hospederos que están inmunes y son resistentes a infecciones futuras; C₁ = Población de hospederos colonizados por una bacteria benéfica activa; C₂ = Población de hospederos colonizados por bacterias benéficas que han entrado en estado de dormancia; T = Hospedero

comparación con las bacterias que viven en la zona influenciada por la raíz (rizosféricas). Las bacterias endófitas tienen menor competencia que las bacterias rizosféricas para tomar sus nutrientes y por lo tanto podrían brindar cualquier beneficio directamente a la planta hospedera.

LA CAÑA DE AZÚCAR Y LAS BACTERIAS ENDÓFITAS

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta de gran interés agrícola que se cultiva ampliamente en los países tropicales. La mayor parte se destina a la producción de azúcar. Sin embargo, pueden obtenerse diversos productos a partir de esta planta, entre los que destaca el alcohol etílico que es muy usado en Brasil como combustible renovable. Uno de los principales problemas en el cultivo de caña de azúcar, es el elevado nivel de nitrógeno combinado que la planta requiere para su desarrollo. A pesar de esto, la caña de azúcar cultivada en Brasil ha sido tradicionalmente fertilizada con bajas cantidades de nitrógeno, lográndose rendimientos similares a los obtenidos en otros países donde los cultivos son fertilizados con altas cantidades de nitrógeno. Además, en Brasil no se ha detectado disminución de las reservas de nitrógeno del suelo donde se cultiva caña de azúcar a pesar de décadas de cultivo. Esto sugirió que el proceso de fijación biológica de nitrógeno (FBN) está ocurriendo en las plantas de caña de azúcar cultivadas en Brasil. En diversos trabajos se ha demostrado que la FBN se lleva a cabo en gramíneas

y particularmente en la caña de azúcar. Se ha observado que algunas variedades de caña de azúcar obtienen hasta el 70% de nitrógeno a través de la FBN. Aunque se han aislado muchas bacterias fijadoras de nitrógeno tanto de la rizósfera como endófitas de la caña de azúcar, no se conoce cual de ellas podría contribuir con la mayor tasa de FBN. Se ha sugerido que *Gluconacetobacter diazotrophicus* podría ser una de las especies que más contribuye con la tasa de FBN debido a sus características fisiológicas poco comunes entre los diazotófos, como son su capacidad de fijar nitrógeno y producir fitohormonas bajo condiciones similares a las encontradas en los fluidos de la caña de azúcar (pH ácido y concentraciones de sacarosa elevadas), lugar donde se establece la bacteria.

G. diazotrophicus es una bacteria que fue aislada por primera vez por Cavalcante y Döbereiner (1988), a partir de tejidos de caña de azúcar. Esta bacteria posteriormente ha sido aislada como endófito de distintas variedades de caña de azúcar localizadas en zonas geográficas muy distantes, además de que también ha sido encontrada asociada a diversos hospederos como el camote (*Ipomoea batatas*), algunos pastos de variedad Cameroon (*Pennisetum purpureum*), el caféto (*Coffea arabica*), la piña (*Ananas comosus*), y la chinche harinosa (*Saccharococcus sacchari*). En la planta se ha encontrado que la bacteria prefiere los espacios intercelulares y tejido vascular como el xilema.

En experimentos recientes se ha demostrado que cuando se inocula *G. diazotrophicus* en plantas de caña de azúcar, la bacteria es capaz de fijar ciertas proporciones de nitrógeno y de

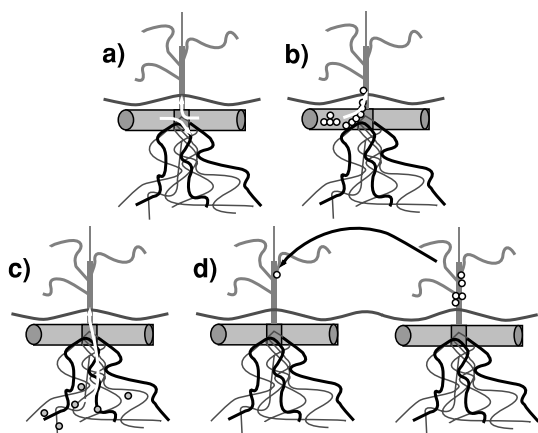


FIGURA 2. Representación de las formas de transmisión sugeridas para *G. diazotrophicus* en caña de azúcar. Las flechas indican la dirección de transmisión de *G. diazotrophicus*. a) *G. diazotrophicus* asciende desde los esquejes y coloniza a las nuevas plantas de caña de azúcar derivadas de la planta madre (propagación vegetativa). b) La chinche harinosa portadora de la bacteria benéfica puede colonizar a las nuevas plantas de caña de azúcar y favorecer la transmisión de *G. diazotrophicus*. c) Las esporas VAM pueden ayudar a *G. diazotrophicus* a colonizar a la caña de azúcar, funcionando como un sistema alternativo de transmisión de bacterias benéficas. d) Bajo condiciones óptimas de medio ambiente una chinche harinosa macho, portadora de *G. diazotrophicus*, podría volar y pasar a una nueva planta de caña de azúcar, favoreciendo la transmisión de la bacteria.

promover el crecimiento de las plantas predominantemente a través de mecanismos de tipo hormonal, dependiendo de la variedad de caña de azúcar y del genotipo de bacteria inoculado.

DINÁMICA DE POBLACIÓN HOSPEDERO-MICROORGANISMO

Para entender la dinámica de infecciones bacterianas, la población hospedera en estudio puede ser dividida en susceptibles (X), infectados (Y), latentes (H) e inmunes o resistentes (Z), donde el número total de la población (N) es la suma de todas las categorías (Figura 1A). La descripción de la dinámica de la población hospedera en función de una bacteria benéfica puede realizarse en una forma muy semejante, cambiando algunos términos, así el número total de la población (N_b) sería la suma de hospederos susceptibles (X), colonizados (C) y resistentes (T) (Figura 1B). La descripción de una población a través de una asociación benéfica sustituye a los hospederos infectados y latentes de la descripción patogénica por la población de hospederos colonizados por la bacteria benéfica (C). Sin embargo, hay que aclarar que esta categoría se tiene que subdividir en dos: la población de hospederos colonizados por una bacteria benéfica activa (C_1), cuando el hospedero se está beneficiando de la interacción; y la población de hospederos colonizados por una población benéfica no activa (C_2), cuando por alguna razón la bacteria está presente en el hospedero, pero no lo está beneficiando en ese momento (similar a un estado latente en la asociación patogénica). Sin embargo, la realidad es que los hospederos siempre están en interacción tanto con microorganismos patógenos como con benéficos, por lo que la dinámica de población debe ser representada en términos de las combinatorias posibles, de las cuales se da un ejemplo en la Figura 1C.

Para describir la dinámica poblacional también es muy importante conocer la tasa neta reproductiva de la infección, que es proporcional al número de encuentros entre hospederos susceptibles e infectados y al coeficiente de transmisión (estas son categorías dependientes de los factores del ambiente sobre la asociación). El conocimiento de la forma de transmisión de un microorganismo patógeno (enfermedad de la población) o benéfica (éxito de la población) en una población hospedera nos ayudará a entender su dinámica en ese medio.

TRANSMISIÓN DE *G. DIAZOTROPHICUS* EN CAÑA DE AZÚCAR

Se han sugerido tres formas de transmisión para *G. diazotrophicus* en caña de azúcar: directa, en la que una nueva planta de caña de azúcar crece a partir de la yema germinal localizada en el tallo (propagación vegetativa), mecanismo mediante el cual las bacterias infectan a las plantas emergentes. Se ha observado que cuando se cultiva esquejes (partes del tallo que contienen yemas germinales) de caña de azúcar esterilizados por fuego o por métodos químicos, las plántulas nuevas resultantes portan una población de *G. diazotrophicus* idéntica a la encontrada en el tallo de la planta usada para plantilla (planta madre) (Figura 2a).

Se ha propuesto que una segunda forma de transmisión de *G. diazotrophicus* en la caña de azúcar podría ser a través del homóptero *Saccharicoccus sacchari*, conocido también como chinche harinosa; dicho homóptero podría succionar el jugo de una planta que contiene bacterias y transmitir las a plantas no infectadas. La forma de propagación de este homóptero a plantas nuevas de caña de azúcar se realiza

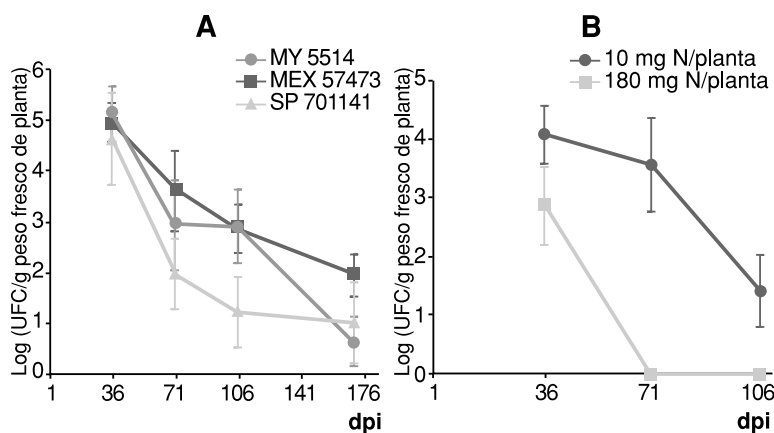


FIGURA 3. Comportamiento de la población de *G. diazotrophicus* (Cepa UAP 5560) en asociación endófito con la raíz de caña de azúcar. UFC = Unidades formadoras de colonia bacterianas. Efecto del nitrógeno (NH_4NO_3) sobre la población de *G. diazotrophicus* en caña de azúcar (ej. variedad MY 5514). Cuando se adicionan niveles altos de nitrógeno a las plantas (180 mg N/planta) la población de *G. diazotrophicus* es afectada drásticamente comparada con la que se observa en plantas adicionadas con niveles bajos de nitrógeno (10 mg N/planta).

aprovechando la forma vegetativa de reproducción de la planta, así que las nuevas poblaciones de chinche harinosa infestan a los tallos de caña de azúcar por simple migración desde los esquejes plantillas a las plantas nuevas (Figura 2b); además se sabe que los machos son capaces de volar, por lo que podrían llegar a otras plantas de caña de azúcar no infectadas (Figura 2d). Como hemos mencionado *G. diazotrophicus* ha sido aislada de las chinches harinosas que viven en asociación íntima con la caña de azúcar, pero no ha sido determinado del todo quién es el hospedero definitivo de la bacteria.

Una tercera forma de transmisión podría ser a través de esporas de hongos micorrízicos del tipo vesículo-arbuscular (VAM) (Figura 2c). *G. diazotrophicus* ha sido aislado de esporas de hongos micorrízicos y en laboratorio ha sido demostrado que es posible la inoculación de plántulas de caña de azúcar usando a las esporas de éstos hongos como vectores de transmisión. De hecho se ha observado que la coinoculación de esporas VAM con *G. diazotrophicus* es mas benéfica para las plantas hospederas que la inoculación independiente. Así se sugiere que las esporas VAM desempeñan un papel importante como vectores de transmisión de *G. diazotrophicus* en la naturaleza.

Es posible que existan otras alternativas de transmisión. En México se ha descrito que existen más de cien insectos asociados a la caña de azúcar y aún no ha sido explorada la posibilidad de que éstos funcionen como vectores de transmisión. Además, algunos organismos superiores, como las aves, podrían también estar implicados en la transmisión de microorganismos benéficos.

FACTORES QUE AFECTAN A LA TRANSMISIÓN DE *G. DIAZOTROPHICUS* EN CAÑA DE AZÚCAR

La transmisión de un microorganismo es afectada por diversos factores ambientales. Se ha observado que en los periodos del año de poca lluvia o en periodos prolongados de sequía, la población de *G. diazotrophicus* disminuye fuertemente. Bajo condiciones de laboratorio se ha observado que algunas bacterias benéficas como es el caso de *Pseudomonas putida* y *G. diazotrophicus* son sensibles a procesos de desecación. De hecho, estas bacterias se aíslan con mayor éxito en épocas cuando el agua no es escasa. Será importante realizar trabajos para entender los mecanismos mediante los cuales las bacterias benéficas pueden sobrevivir a estas condiciones de desecación y potenciar de alguna forma esos mecanismos. Las estaciones del año, y específicamente la humedad, son factores que también afectan a la chinche harinosa; estos homópteros prefieren temperaturas calurosas para su reproducción y aunque la caña de azúcar es un cultivo perenne, se piensa que la transmisión de *G. diazotrophicus* podría ser favorecida cuando las condiciones climáticas son las adecuadas para la reproducción de la chinche harinosa. Dado que este homóptero coloniza las plantas nuevas de caña de azúcar aprovechando la forma vegetativa de reproducción de la planta, los enemigos naturales de la chinche harinosa también podrían interferir en la transmisión de *G. diazotrophicus*.

Sin duda alguna, muchas de las prácticas agrícolas que el hombre ha desarrollado para aumentar la productividad de caña de azúcar son los factores que mayor influencia negativa pueden ejercer sobre las asociaciones benéficas. Para cosechar la caña de azúcar, generalmente los cultivos son quemados y aunque no sabemos cuánto afecta esta práctica agrícola, podemos inferir que influye sobre la población de

chinche harinosa y consecuentemente a una forma de transmisión de *G. diazotrophicus*. Por otro lado, la quema de caña de azúcar, previa a su cosecha, ocasiona la pérdida de materia orgánica, empobreciendo a la tierra para nuevos cultivos y para bacterias que podrían usar esa materia orgánica. De hecho *G. diazotrophicus* puede aislarse de la rizósfera de los cultivos de café pero no de los cultivos de caña de azúcar, y esta diferencia se atribuye a la presencia de materia orgánica en los cultivos de café.

Después de la revolución verde y para tener mayor productividad, la caña de azúcar y otros cultivos de interés agronómico han sido adicionados con elevadas cantidades de fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, sólo del 30 al 50% del fertilizante adicionado es aprovechado por las plantas, el restante se pierde por lixiviación o desnitrificación provocando efectos nocivos sobre el medio ambiente. Además, la asociación de caña de azúcar con *G. diazotrophicus* está influenciada por los niveles de fertilización nitrogenada; se sabe que el aislamiento de esta bacteria a partir de plantas de caña de azúcar adicionadas con elevados niveles de fertilización nitrogenada (250-300 kg N/ha) resulta muy difícil. En cambio, cuando los cultivos son adicionados con niveles bajos o medios de fertilizante nitrogenado (50-60 kg N/ha), el aislamiento de *G. diazotrophicus* es más abundante. En el laboratorio hemos observado que el nitrógeno combinado es capaz de disminuir la capacidad de distintas cepas de *G. diazotrophicus* para establecerse en caña de azúcar cuando las plantas crecen en condiciones de elevada fertilización nitrogenada (Figura 3). Estos experimentos han sido desarrollados con plántulas provenientes de cultivo de tejidos que están libres de bacterias, que son inoculadas con *G. diazotrophicus* y crecidas en condiciones de invernadero. Además hemos observado un efecto negativo sobre la población de *G. diazotrophicus* con relación a la edad de la caña de azúcar; plantas de 35 días de edad mantienen la asociación con *G. diazotrophicus* en condiciones óptimas, pero a los 75 días posteriores a la inoculación (dpi) (Figura 3), el número de bacterias disminuye drásticamente, dependiendo del genotipo bacteriano. Así, la edad de la caña de azúcar se convierte en otro factor limitante que tiene que tomarse en cuenta en la asociación.

Aún no sabemos cómo la edad de la planta o los niveles de fertilización nitrogenada influyen sobre la disminución de la población de *G. diazotrophicus* en los tejidos de la caña de azúcar. No obstante, es conocido que ocurren cambios en las relaciones de agua y de las concentraciones de sacarosa durante su crecimiento, lo cual sugiere que alguno de los cam-

bios fisiológicos puede activar una regulación de las bacterias endófitas por parte de la planta. Esto no debe sorprendernos, ya que las plantas deben ser capaces de frenar el crecimiento de las bacterias benéficas, de otra forma ellas terminarían convirtiéndose en patógenas. Además, también han sido reportados cambios en las actividades enzimáticas de las plantas de caña de azúcar cuando ellas son fertilizadas con nitrógeno. Estos cambios fisiológicos y metabólicos podrían modificar las condiciones para el establecimiento y aun la permanencia endofítica de *G. diazotrophicus* en la caña de azúcar.

El efecto del nitrógeno combinado sobre la asociación de bacterias endófitas ha sido reportado en diferentes trabajos, y ahora se sabe que éste es un factor limitante para dichas asociaciones. Actualmente los cultivos de interés agronómico son fertilizados con elevadas dosis de nitrógeno; de hecho, se seleccionan variedades que son resistentes a enfermedades y que son capaces de usar eficientemente el fertilizante nitrogenado. Posiblemente estas plantas han perdido también la capacidad de interactuar con bacterias de tipo benéfico y tal pérdida se acentúa cuando las plantas se fertilizan con elevadas dosis de nitrógeno, como se ha observado en plantas de caña de azúcar, de piña y de café cuando se asocian con *G. diazotrophicus*. Llama la atención el hecho de que *G. diazotrophicus* se aísla con mayor facilidad en variedades de caña de azúcar que han sido cultivadas con baja fertilización nitrogenada.

En lo que toca a los factores ambientales que afectan a la transmisión de microorganismos benéficos, será importante, en un futuro, entender cómo las bacterias benéficas pueden sobrevivir a condiciones adversas y, más aún, seguir activas. Las prácticas humanas deben ser cuestionadas y evaluar si realmente es necesario llevarlas a cabo; por ejemplo, pensamos que los niveles de fertilizante nitrogenado adicionado a los cultivos de caña de azúcar son excesivos y que el disminuirlos no afecta a la productividad, pero sí podría tener un impacto medioambiental positivo, incluyendo la recuperación de asociaciones benéficas bacteria-caña de azúcar. Experimentos piloto en plantas inoculadas con *G. diazotrophicus* en campos de Cuernavaca (México) realizados por Caballero Mellado y colaboradores indican que aun cuando ellos fertilizan con dosis bajas de nitrógeno (50 Kg N/ha) los rendimientos son muy similares a los observados con elevadas dosis de fertilización (300 Kg N/ha). Además, Brasil es un ejemplo de que incluso fertilizando con niveles bajos de nitrógeno su rendimiento por hectárea es muy semejante al que se obtiene en países donde

los cultivos de caña de azúcar se fertilizan con altas dosis de nitrógeno, como es el caso de Hawai y México.

En la actualidad hemos determinado la dinámica de población de *G. diazotrophicus* asociada a la caña de azúcar; será de gran relevancia conocer la dinámica poblacional de otras bacterias endófitas cuando sus hospederos sean fertilizados con diferentes dosis de nitrógeno combinado, lo cual seguramente aumentará nuestro conocimiento sobre las fluctuaciones de las poblaciones bacterianas asociadas con las plantas. Esto podría conducir a encontrar relaciones estables planta-bacteria con potencial de aprovechamiento agronómico.

REFERENCIAS

Muñoz Rojas, J. y Caballero Mellado, J., *Gluconacetobacter diazotrophicus*, modelo de bacteria endófito, en Martínez Romero, E. y Martínez Romero, J.

(editores), Microbios en línea <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/libros/microbios/>, UNAM, México, 2001, pp. 157-176.

Muñoz Rojas, J. y Caballero Mellado, J., Population dynamics of *Gluconacetobacter diazotrophicus* in sugarcane cultivars and its effect on plant growth, *Microbial Ecology*, 46, 2003, pp. 454-464.

Muthukumarasamy, R., Revathi, G., Seshadri, S., y Lakshminarasimham, C., *Gluconacetobacter diazotrophicus* (syn. *Acetobacter diazotrophicus*), a promising diazotrophic endophyte in tropics, *Current Science*, 83, 2002, pp. 137-145 (<http://www.iisc.ernet.in/~currsci/jul252002/137.pdf>).

Pieterse, C.M. y van Loon, L.C., Salicylic acid-independent plant defense pathways, *Trends in Plant Science*, 41, 1999, pp. 52-58.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Banco Central Santander Hispano y a J.L. Ramos por darme la oportunidad de realizar mis estudios posdoctorales en España.

Jesús Muñoz Rojas actualmente realiza una estancia posdoctoral en el Departamento de Bioquímica, Biología Celular y Molecular de Plantas del csic (Granada, España). jmrojas@eez.csic.es



© Patricia Aridjis, de la serie *Las horas negras*, México, D.F., 2000-2004.



EL DOCTOR MARCELINO CEREJIDO Y SUS PATRAÑAS

MARCELINO CEREJIDO

LIBROS DEL ZORZAL, ARGENTINA, 2004

Escribe Marcelino Cerejido en el prólogo:

“En este libro compilo artículos que si bien tuvieron su origen en hechos reales, han acabado en la distorsión, la mentira y el escándalo. Mal que me pese debo admitir que, mientras mis esforzados artículos sobre mi campo de trabajo (fisiología celular y molecular) con los que me atengo al implacable “publica o muere” que rige mi profesión, son leídos por un número exiguo de especialistas, los artículos aquí agrupados han llegado a agotar ediciones de revistas y circulado luego en forma de fotocopias. Jamás me ha parado un colega en los pasillos de mi centro de investigación para comentarme la lectura de algún artículo mío en el *American journal of physiology*, el *Journal of membrane biology* o algunos de mis libros sobre el analfabetismo científico que está hundiendo a nuestros países. En cambio, los artículos que agrupé en este libro han tenido la virtud de dividir a mis lectores en aquellos que estaban abiertamente en mi contra, y el resto, que estaba airadamente contra mi mamá. La idea que el ciudadano común tiene sobre los investigadores es casi tan falsa como la que tiene sobre la ciencia (a la que generalmente confunde con la investigación). Lo malo es que una sociedad que se mueve con esos conceptos está condenada a la miseria y a la dependencia en el mundo moderno.

Pero con el analfabetismo científico sucede como con las neurosis: la gente lo padece, enuncia su deseo de curarse, pero se resiste a tratarlo en serio y acaba

cultivándolo. De pronto caí en la cuenta de que el público y los colegas académicos tomaban más en serio los artículos de este libro en que, si bien no había mentido, había exagerado, interpretando fuera de contexto, y confesado transgresiones. En un primer momento me propuse ser más cuidadoso pero, así y todo, mis narraciones se fueron deslizando hacia una suerte de *judo* literario. Me explico: allá en mi adolescencia, un profesor de *judo* me mostró que cuando dos contrincantes se empujaban con el 100% de sus fuerzas, la acción es poco eficaz; en cambio, si de repente uno de ellos, lejos de empujar, jala al oponente hacia sí, éste pierde equilibrio y se viene con una fuerza igual a la suma de ambos. De modo que en lugar de acallar los rumores sobre mi conducta científica, los confirmé, exageré y transformé en patraña. La patraña se fue transformando en un estilo que atrae la atención hacia el mundillo de la investigación y la ciencia, y en cierto modo resquebraja la coraza de ignorancia de la gente sin ciencia. Después de todo, si de distorsionar se trata, estas patrañas no resultan más falsas que las descripciones que uno escucha en los homenajes a científicos o en los discursos en que un funcionario declara su propósito de apoyar a la ciencia. Las patrañas son casi tan inanes, pero muchísimo más amenas.

Las narraciones agrupadas en este libro fueron apareciendo a lo largo de veinticinco años en *Avance y perspectiva*, revista mensual del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), donde tengo mi laboratorio. Esa circunstancia les dio varias connotaciones que creo conveniente señalar, porque no emanarán de la lectura.

Avance y perspectiva no se vende y, como se solventa con dinero de la propia institución, no caben en ella debates ni críticas, pues no se concibe que algo normado por la autoridad pudiera no ser perfecto. No se trata de una aberración, por el contrario, tanto por su nivel profesional como por su ambiente de trabajo, el CINVESTAV es un excelente instituto de investigación, sólo que, como toda sociedad pre-científica, tiene al Principio de Autoridad entre sus ingredientes constitutivos fundamentales. Dichas

sociedades dan por sentado que los científicos somos infalibles, austeros, solemnes, aburridos y conscientes de que Platón, Galileo y Pasteur nos escudriñan desde el pasado, y que la Humanidad sufriende nos observa desde el futuro, esperando que nuestro talento arrebate a sus hijos de las garras del dolor. En reciprocidad, los autores de *Avance y perspectiva* cuidamos de no defraudar, adoptando las poses correspondientes y publicando anécdotas personales solamente cuando aparecemos como sabios abnegados y recubrimos al mundo científico con el oropel de la gloria.

Afortunadamente, el Dr. Miguel Ángel Pérez Angón, editor de *Avance y perspectiva*, además de mis artículos de divulgación “sería” sobre células y moléculas, fue aceptando también mis contribuciones con anecdotarios mentirosos, hechos fraguados, personajes inexistentes y denuncias falaces, a pesar de que llegaban a provocar desde sonrisas indulgentes a enojos de sabios ultrajados, suscitaban artículos de réplica, creaban conflictos con otras instituciones y hasta provocaban comentarios en periódicos de gran tirada. Nunca me avine a llamarlos “cuentos” porque están basados en hechos verídicos, apenas alterados para no humillar a los colegas llamándolos por su nombre. Pero, como se verá, por momentos este camuflaje pueril de llamar “Douglas Feroso” a un personaje que correspondía a un Douglas Handsome de carne y hueso llegó a provocar la denuncia airada de investigadores que se sintieron aludidos, requirió de intervenciones apaciguadoras de autoridades nacionales, y más de una madrugada me despertó el temor de que mi osadía me trajera consecuencias. Justamente, la “Serie de Douglas Feroso” consiste en un grupo de cuatro artículos que me animé a incluir en el presente libro a pesar del zipizape que provocó en su momento. Dado que las narraciones dependen de la realidad y los momentos en que ocurrieron, las ordeno en secuencia cronológica, arrancando en los años en que costaba mi carrera trabajando como corrector en una editorial, hasta los momentos actuales en los que protesto por la bochornosa ética de ciertas investigaciones con sujetos humanos.”

Instrucciones para los autores

Elementos es una revista científica y cultural. Es un medio de comunicación entre la comunidad científica y los estudiantes de nivel medio superior, y superior, así como el público en general. La revista es abierta y acepta trabajos de cualquier especialidad. Los artículos se someten a la consideración del Consejo Editorial de la revista y son evaluados por especialistas. Las copias del trabajo (anónimas) se enviarán a dos árbitros quienes juzgarán sobre la pertinencia y calidad del trabajo, y decidirán su publicación o sugerirán las correcciones pertinentes. El dictamen editorial se emitirá en un plazo breve, idealmente no mayor a quince días hábiles.

Todos los trabajos aceptados serán sujetos de una revisión editorial. El autor podrá realizar correcciones finales en las pruebas de página que le serán enviadas antes de la publicación de su trabajo.

Los artículos deben ser escritos usando el procesador de texto *Microsoft Word*, y deberán ser enviados por correo electrónico, especificando en el mensaje la versión del procesador que se utilizó, a la siguientes direcciones:

elemento@siu.buap.mx
con copia para
esoto@siu.buap.mx

Alternativamente podrá enviarse una copia impresa de todo el material a:

Dr. Enrique Soto
Revista **Elementos**
Instituto de Fisiología, BUAP
Apartado Postal 406
Puebla, Pue., 72001
México.
Teléfono: (222) 244 16 57
Fax: (222) 233 45 11

En la carátula del artículo, luego del título y el nombre del autor o autores del trabajo, deberá especificarse la institución a la que éstos pertenecen, así como el domicilio, teléfono y dirección de correo electrónico del autor responsable.

En el caso de que el artículo incluya figuras, fotografías o gráficas, éstas deberán enviarse en archivos separados a las mismas direcciones. Son aceptables los formatos JPG (compresión no mayor a 8), TIF, CDR, PSD o EPS (todos en alta calidad). No se aceptarán figuras incrustadas en el documento de *Word*. Al preparar las figuras deberá tenerse en consideración que comúnmente éstas se reducen de tamaño; por ello, la simbología deberá ser clara y diferenciable. Al final del texto se deberán incluir los pies de figura. No deberán incluirse figuras a las que no se haga referencia en el texto, o figuras sin su correspondiente leyenda al pie. En lo posible, se deberá evitar el uso de material gráfico previamente publicado. Sin embargo, cuando ello se considere indispensable, será responsabilidad del autor obtener los permisos necesarios para su reproducción.

Los manuscritos pueden ser destinados a alguna de las siguientes secciones:

1. Artículo de divulgación. El material de esta sección deberá ser presentado utilizando un lenguaje claro y sencillo, evitando el uso de términos técnicos especializados. Cuando éstos sean indispensables, deberá explicarse su significado en una nota. Se recomienda el uso de figuras ilustrativas que permitan sintetizar y aclarar conceptos relevantes. Los artículos deberán ser breves (entre diez y dieciséis cuartillas a doble espacio). Se recomienda usar subtítulos e incisos a fin de facilitar la lectura.

2. Nota científica. Los artículos publicables en esta sección deben ser escritos en lenguaje especializado y referirse a resultados originales (se aceptan este tipo de artículos exclusivamente en Ciencias Naturales); su extensión máxima será de cuatro cuartillas (ochenta golpes, veinticuatro líneas), con un máximo de dos figuras. El manuscrito deberá incluir las siguientes secciones: introducción, material y métodos, resultados, discusión, y bibliografía. En él deberán presentarse resultados que por su originalidad convenga publicar en español, independientemente de que puedan publicarse en otro idioma.

En cualquier caso, las referencias en el texto se indicarán con un número de acuerdo al orden en que aparecen. Debido al carácter de la revista, deberán incluirse sólo referencias a trabajos fundamentales sobre el tema en cuestión. Al final del texto, la lista de referencias deberá escribirse de acuerdo con los siguientes modelos:

ARTÍCULOS EN REVISTAS

Torres Tejeda, A.G. y Baca, B.E., "Reacción en cadena de la polimerasa", *Elementos*, núm. 23, vol. 3, 1995, pp. 16-21.

ARTÍCULOS EN LIBROS

Bunge, M., La bancarrota del dualismo psiconeural, en *La conciencia*, editor Fernández Guardiola, A., Editorial Trillas, México, 1979, pp. 71-84.

LIBROS

Chalmers, A.F., *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Editorial Siglo XXI, México, 1989.

www.elementos.buap.mx