

La biodiversidad: conceptos y perspectivas

Jorge A. Jiménez

En este artículo, el Dr. Jiménez presenta algunas interesantes consideraciones sobre la biodiversidad, entendida ésta como una propiedad y no como un recurso en sí mismo.

El autor argumenta que la variación genética de una población va en relación directa con sus posibilidades de sobrevivencia y que el caos, el cambio y la transformación son variables que han hecho posible la vida tal como la conocemos hoy en día.

Sin embargo, el ser humano ha pretendido "ordenar" y simplificar el entorno, para hacerlo predecible y fácilmente utilizable, valiéndose de medios, como la deforestación y la reducción de especies, que se oponen a las características intrínsecas de la vida.

El autor reflexiona en torno a ello y plantea que, de continuar con la simplificación del ambiente, desaparecerá gran parte de la información genética acumulada a través de miles de millones de años y que lo más prudente sería mantener muestras representativas y funcionales de esa biodiversidad.

Una travesía por los 533 000 km² que comprenden el istmo centroamericano es una experiencia extraordinaria para el amante de la naturaleza. Desiertos, páramos, pantanos, selvas lluviosas, bosques secos, bosques de altura, bosques nubosos, arrecifes de coral y manglares se suceden unos tras otros a lo largo de un viaje de pocas horas.

La observación detenida de cualquiera de estos ambientes muestra una impresionante variedad de organismos dentro de cada uno. Altos árboles conforman el dosel del bosque, cientos de aves y miles de insectos vuelan entre ramas y arbustos. Desde la microscópica bacteria hasta el majestuoso roble, desde la afanosa abeja hasta el temido leopar-

do, el istmo centroamericano reúne a cientos de miles de especies. Como ocurre en otras regiones del mundo, el quehacer científico de los últimos dos siglos no ha logrado describir más que un pequeño porcentaje de esa diversidad. La diversidad total de especies no puede ser estimada ni siquiera al orden de magnitud más cercano (Wilson, 1991).

El asombroso número de especies presentes en América Central, exhibe a su vez miles de adaptaciones especiales para sobrevivir en diferentes ambientes. Dentro de una misma especie existen variedades tolerantes a condiciones más secas o más húmedas, a climas más fríos o más lluviosos, a suelos más ácidos o básicos. También, a través del proceso

Foto: R. García.

evolutivo, las diferentes especies han creado variadas relaciones interespecíficas, que son parte fundamental de los sistemas vivos que observamos en la Región. Ejemplos de éstas son las aves polinizadoras que sólo visitan flores de un determinado grupo de plantas o mamíferos que sólo se alimentan de cierto tipo de frutos.

Toda esta variación de organismos, adaptaciones y relaciones es el resultado de una de las propiedades fundamentales de todo sistema viviente: la capacidad de ser distinto, diferente. Esta propiedad es también llamada biodiversidad. Como propiedad, la biodiversidad no es por lo tanto un recurso en sí misma. Las especies y las poblaciones son recursos, pero sus diferencias físicas y químicas, aún de comportamiento, no lo son.

Origen de la información hereditaria

Toda esta diversidad de formas y funciones tiene sus orígenes en microscópicas moléculas que todo organismo posee en sus células: los ácidos nucleicos. En la naturaleza hay dos formas de estas moléculas: el ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico). El ADN está compuesto de cuatro diferentes unidades, llamadas nucleótidos. Los nucleótidos forman una cadena que se complementa con otra cadena paralela de nucleótidos, corformando así una doble cadena helicoidal. Con la excepción de algunos virus, la doble cadena helicoidal del ADN es la depositaria de toda la información hereditaria en los seres vivos y la responsable de transportar la información hereditaria de una generación a otra.

La información hereditaria está contenida en la secuencia u orden que los nucleótidos adoptan en la cadena. Cada nucleótido puede ser considerado como una letra que al alinearse en un determinado orden crea palabras. Ya que cada cadena puede tener cientos de nucleótidos, las posibilidades de combinación son prácticamente ilimitadas. Esto produce miles de palabras en una sola cadena. Una secuencia específica de nucleótidos actúa entonces como una unidad de información, lo que se le llama más comúnmente un gen. Los genes, entre otras cosas, son responsa-

bles de producir miles de proteínas, que asociadas a su vez en diferentes formas, estructuran un organismo. como mutaciones. La mayoría de estos cambios no producen ningún efecto evidente en el organismo o en su capacidad de sobrevivir. A veces la mutación es letal y el organismo muere, mientras que algunos de estos cambios son favorables para el organismo y representan una mutación de alto valor adaptativo: el organismo logra mejorar su sobrevivencia y pasar este ventajoso cambio en sus genes a las futuras generaciones. Como resultado, una nueva variedad o especie de organismo se vuelve exitoso.



La biodiversidad no sólo se refleja en el número de especies en un sitio. También se manifiesta en las relaciones que éstas mantienen con su ambiente y con otras especies. (Foto: R. García).

bles de producir miles de proteínas, que asociadas a su vez en diferentes formas, estructuran un organismo.

Variaciones genéticas

Los cambios o alteraciones en la secuencia de nucleótidos, producidos al azar, entre otros, por radiaciones ultravioletas o sustancias químicas, son conocidos

En una bacteria se puede encontrar alrededor de mil genes, y en plantas y animales, hasta 400 000. Esta variedad genética se modifica constantemente mediante procesos de recombinación cromosómica, deriva genética, inversiones y entrecruzamientos. Si a esta "variable variedad" le agregamos los potenciales cambios originados por el proceso de mutación, podemos inferir la

vasta cantidad de información asociada a cualquier or-

ganismo, que es precisamente lo que hace la vida perdurable. Entre más variación genética exista en una población, mayor será la probabilidad de que ésta sobreviva.

La variación genética que mantienen las poblaciones viables en la naturaleza es impresionante. "Aún con estimados muy conservadores del número de genes..., el número de potenciales genotipos en el mundo es muchas veces mayor que el número de átomos y partículas subatómicas estimadas ...en el universo... Lo que existe es sólo una muestra infinitamente pequeña de lo que podría existir" (Dobshansky *et al.*, 1977).

Selección natural

A través de los ácidos nucleicos, la vida ha encontrado una forma ingeniosa de producir una amplia variedad de combinaciones de nucleótidos o palabras que, unidas en libros y volúmenes, forman la enciclopedia de la vida en el planeta. Esta gran variación genética es la propiedad fundamental de la vida y la selección natural actuando sobre esa variación, es lo que produce los cambios evolutivos. La selección natural hace que la información genética de aquellas manifestaciones de la variación genética que sean ventajosas para un ambiente dado, sobreviva y pase de

generación en generación. Aquella información genética que se expresa en formas no competitivas tiende, por su lado, a desaparecer.

La biodiversidad, es una propiedad dinámica que resulta en constantes cambios. Durante los 3 500 millones de años, desde que la vida se originó en el planeta, millones de especies se han formado. La gran mayoría de ellas han desaparecido. Como estricto revisor literario, la selección natural ha rechazado aquellos libros cuyo estilo no se ajusta a la "moda" de los tiempos.

Una de las propiedades fundamentales de todo sistema viviente es la gran variedad genética, sobre la cual actúan la selección natural y procesos fortuitos.

Procesos fortuitos

Para ser rigurosos en el análisis, debemos reconocer que no sólo la selección natural determina qué genes sobreviven y perduran generación tras generación. Como en muchos otros procesos, la vida también está afectada por el azar. Cuando en el año 48 a.C. las tropas victoriosas de Julio César dieron fuego a la famosa biblioteca de Alejandría, más de

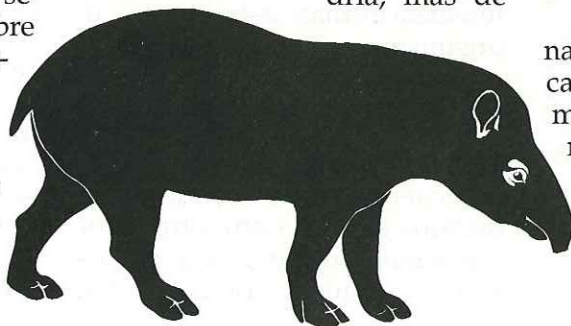
700 000 volúmenes literarios desaparecieron. La complejidad del texto o la forma del libro fueron elementos intrascendentes para el fuego destructor y la información de siglos, acumulada en ese sitio, desapareció.

En el desarrollo de la vida, situaciones similares se han dado repetidamente. La composición de la biota terrestre, a nivel de especie, ha cambiado drásticamente muchas veces en los últimos 3 500 millones de años. Procesos impredecibles y azarosos han producido extinciones masivas de la biota terrestre. En la más dramática de ellas, a finales del Pérmico (hace unos 250 millones de años), entre el 77 y el 96% de las especies de animales marinos fueron eliminadas. Muchas otras extinciones masivas de menor intensidad han sido registradas reflejando que este fenómeno ha sido reiterado en la historia de la vida terrestre.

Así como en el fuego de la biblioteca de Alejandría los libros buenos se quemaron con los malos, así en estas extinciones las especies más exitosas murieron junto con las menos exitosas. La sobrevivencia fue asunto del azar, no del grado de complejidad o "perfección" del organismo.

Cambio y destrucción: parte de la evolución de la vida

Ya sea mediante la selección natural o de procesos fortuitos, el cambio y la destrucción han moldeado la vida que conocemos hoy. Cambio y muerte son propiedades inherentes al proceso evolutivo de la vida en el planeta. En realidad, la naturaleza requiere de muerte y cambio para sobrevivir.



Los bosques necesitan de alteraciones, como los claros, para mantener su diversidad. De hecho, muchas poblaciones y sistemas biológicos sucumbirían sin cambios. La evolución de la vida misma está regulada por la selección natural y las catástrofes, que requieren de la muerte y la destrucción.

La especie humana, con apenas algunos segundos de vida en el reloj geológico del planeta, también está regulada por esos principios. Esta realidad debe de regir nuestra convivencia con el resto de la biodiversidad en el planeta. La cultura helénica y sus derivaciones dentro de la cultura occidental, repetidamente, han descrito la vida en el planeta como un estable edén bíblico: un ambiente bucólico donde la estabilidad de los sistemas vivos hace que la vida transcurre apaciblemente. No obstante, debemos reconocer que cambio y destrucción han sido parte inherente de la evolución de la vida. Nuestra relación con el ambiente circundante debe contemplar la posibilidad de que ocurran cambios drásticos que afecten el ambiente, a nuestros sistemas productivos y las especies de las que dependemos.

A pesar del fútil instante que ha ocupado la vida humana en el calendario del planeta, nuestro antropocentrismo, la teoría que el ser humano es el centro de todas las cosas, el fin absoluto de la naturaleza, nos hace creer muchas veces que hemos estado aquí por siempre. Esa falsa seguridad en nuestra permanencia nos hace olvidar que somos sólo una parte de la biodiversidad del planeta y que lo que le pase a ésta, nos afectará directamente. El ser humano debe estar preparado para el cambio y la destrucción.

El análisis de la vida en el planeta nos ha demostrado que la gran mayoría de las formas que han aparecido, se han extinguido. La vida, sin embargo, ha continuado gracias a su característica fundamental, su alta diversidad. Cualquier tendencia hacia la reducción de la diversidad parece aumentar la fragilidad del sistema. En los sistemas vivos destaca un denomina-

Cualquier tendencia hacia la reducción de la diversidad, parece aumentar la fragilidad del sistema.

dor común, la existencia de una alta redundancia funcional. Ya sean moléculas o especies, la vida ha sobrevivido porque mantiene sistemas alternos. Si un productor primario desaparece de un sistema, otro ocupa rápidamente su lugar y las funciones continúan con poca alteración.

La relación del ser humano con la naturaleza

El ser humano ha sido un mal observador de los fundamentos de la vida. Su relación con el ambiente no sigue los principios básicos que aseguran la vida en el planeta. Desde los inicios de la humanidad, el ser humano ha querido "ordenar" y simplificar su entorno natural. Su afán de simplificarlo reside en su afán de hacerlo predecible, fácilmente utilizable.

Pero al ordenarlo, al simplificarlo, el ser humano se opone a las características intrínsecas de la vida: el caos y la alta diversidad. Hasta hace unos pocos milenios (nada en la historia geológica), el hombre era un animal más, un pequeño botón del árbol de la vida. Las poblaciones humanas deambulaban por la tierra inmersas en una masa boscosa que les proporcionaba alimento y materiales.

Con el advenimiento de la agricultura hace unos 10 000 años, profundos cambios empezaron a gestarse. Las poblaciones humanas se establecieron en pequeñas aldeas y caseríos. Al inicio, el impacto de este primate social en el ambiente circundante fue mínimo. Las aldeas eran pequeñas islas en un mar de bosque. La asfixiante extensión del bosque hacía sentir al ser humano miedo hacia esa masa desordenada y desconocida. Seres extraños, reales e imaginarios, habitaban en esas extensiones. Posteriormente, primero en la Europa medieval y luego en la América colonial, el bosque no era sólo la guarida de lobos, jabalíes, tigres y víboras, en él se encontraban también formas humanas malevolentes, como los ogros y los duendes, y seres salvajes, como "el dueño del monte" y "la tulevieja". Para estos aldeanos el bosque era un infierno verde donde el ser humano no podía sobrevivir.



Junto con la agricultura, la organización social permitió mejoras sustanciales en la sobrevivencia.

cia del ser humano. A pesar de que el *Homo sapiens*, junto con los elefantes, posea una de las tasas de incremento poblacional más bajas de los seres vivos, la creciente organización social permitió que la población humana aumentara rápidamente. Este incremento exponencial, ha hecho posible que el hombre ejerza su voluntad de imponer "orden" y simplificación en el "caótico" entorno natural. Esta simplificación y "orden" se ha logrado a través de la deforestación y la reducción de especies en su ambiente circundante.

Repercusiones

La pérdida de cobertura boscosa ha traído como consecuencia una pérdida de diversidad orgánica. La destrucción del hábitat de miles de especies - la mayor parte ni siquiera conocidas -, es la amenaza más grande a la biodiversidad del planeta. La mayoría de las pequeñas especies que se están extinguiendo en este proceso pueden ser, eventualmente, más importantes para el ser humano que las espectaculares especies cuya desaparición recibe amplia publicidad.

Pero, ¿por qué debe preocuparnos la destrucción antropogénica de la biodiversidad actual? Después de todo, ¿no ha sobrevivido la vida a grandes epi-

sodios de destrucción y muerte? y ¿no se ha argumentado anteriormente que sin la muerte la vida no habría evolucionado en la Tierra?

Aparte de razones éticas y estéticas, la acelerada simplificación del entorno ambiental puede tener repercusiones muy negativas precisamente para su actor principal, el ser humano. En los últimos 10 000 años, varones y mujeres han basado su supervivencia en el aprovechamiento de la biodiversidad circundante. Sus alimentos, medicinas, vestimenta y energía dependen de la biodiversidad. Asimismo servicios ecológicos básicos como la fertilidad del suelo, la calidad del agua y aún las condiciones climáticas regionales y globales, tienen una relación profunda con el estado de la biodiversidad circundante.

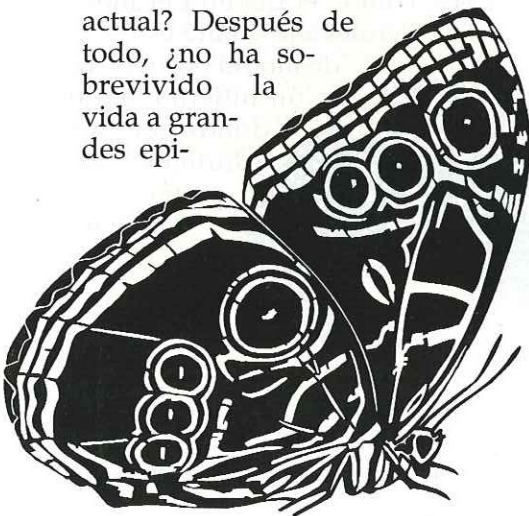
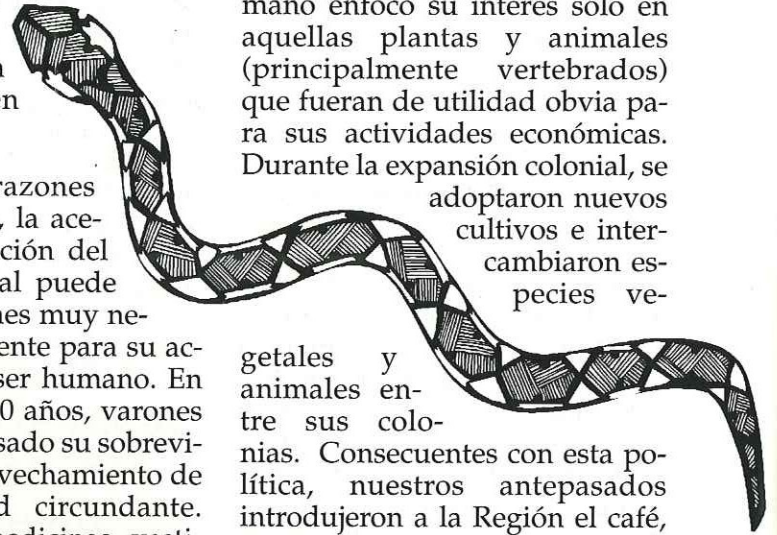
Esta dependencia ha sido evidente para el ser humano desde hace siglos. La cultura aristotélica y pensadores como Francis Bacon, argumentaban en favor del conocimiento como una herramienta para controlar la naturaleza. Lineo mismo argumentaba que "todas estas criaturas de la naturaleza, tan artísticamente formadas, tan maravillosamente propagadas, tan providencialmente integradas... parece que fueron intencionalmente hechas por el Creador para el beneficio del hombre..." (Juma, 1989). Sin embargo, la complejidad del entorno natural ha sido excesiva para el ser humano y no se ha logrado conocer o utilizar más que una minúscula fracción de la variedad de formas y funciones, y diversidad de especies y adaptaciones.

Buscando niveles más simples de complejidad, el ser humano enfocó su interés sólo en aquellas plantas y animales (principalmente vertebrados) que fueran de utilidad obvia para sus actividades económicas.

Durante la expansión colonial, se adoptaron nuevos cultivos e intercambiaron especies ve-

getales y animales entre sus colonias. Consecuentes con esta política, nuestros antepasados introdujeron a la Región el café, el arroz, el banano, la caña de azúcar, el ganado bovino y lanar, gallinas y otras plantas y animales de gran utilidad e importancia económica. Sin embargo, en un acto característico de miopía cultural y a raíz de la incapacidad para entender y manejar sistemas complejos y novedosos, la sociedad europea descartó una gran cantidad de especies utilizadas por los habitantes precolombinos. Cultivos de importancia como el amaranto, prácticamente desaparecieron. Con excepciones como el maíz y los frijoles, la utilización de la mayoría de estas especies fue abandonada y el resto vio reducida sensiblemente su comercialización.

Este patrón de desuso se ha observado en todas las regiones del mundo. En algún momento de su historia, la humanidad ha usado como alimento alrededor de 3 000 especies de plantas (Juma, 1989). Sin embargo, el proceso de simplificación al que el ser humano ha sometido su entorno, ha reducido sensiblemente este número. Actualmente, el 90% de todo el mantenimiento humano y el comercio mundial



de alimentos está basado en 20 especies de plantas y 5 especies de animales (Juma, 1989).

Problemas de los nuevos sistemas productivos

Junto con los cultivos precolumbinos, desapareció también todo el conocimiento asociado a los enfoques de producción basados en el policultivo. La Revolución Verde orientó la cultura agrícola hacia la introducción de variedades de alto rendimiento. Aunque se aumentaba el rendimiento reduciendo el número de variedades usadas, los agricultores perdieron el control del proceso y su capacidad de conducir experimentos adaptativos (Juma, 1989).

Los nuevos esquemas productivos enfatizaron las diferencias entre los sistemas naturales y los agrosistemas. A costa de un aumento en el rendimiento, el ser humano hizo perder a sus cultivos la capacidad de tolerar variaciones en las condiciones ambientales. Los cultivos se volvieron poco resistentes, en algunos casos perdieron hasta la capacidad de reproducirse por sí solos. Con el fin de aumentar el rendimiento, el ser humano creó sistemas productivos frágiles e inestables. Una alta vulnerabilidad de estas variedades a nuevas plagas se hizo evidente; por ejemplo, la roya empezó a invadir América Central en los años ochenta y la principal fuente de ingresos de muchos países de la Región fue afectada al reducirse las cosechas de café. A partir de los años sesenta, la sigatoka ha afectado la producción de banana, obligando a cambiar constantemente las variedades de banana en uso para mantener la producción.

La agricultura ha solucionado estos problemas por medio del uso de agroquímicos y de variedades resistentes a la plaga del momento. Sin embargo, aún con herramientas tan novedosas como la ingeniería genética, el acceso a una amplia variedad de germoplasma es fundamental para la creación de nuevas variedades. La sustitución del bosque natural por agropaisajes y zonas

cionalmente, reduce la base sobre la cual sus cultivos pueden hacerse resistentes al cambio.

Desarrollo humano y variedad genética

El panorama es similar en casi cualquier otro campo de actividad biotecnológica. La incorporación dentro de una especie animal o vegetal de genes resistentes a plagas o condiciones am-



Una gran variedad de formas vivas ha alimentado a la humanidad en los últimos siglos. Sin embargo, el ser humano ha reducido gradualmente y en forma peligrosa el número de especies que utiliza comercialmente en su alimentación. (Foto: R. Jiménez).

urbanas ha reducido aceleradamente el acceso a ese germoplasma. Muchas de las poblaciones silvestres y de parientes cercanos de los actuales cultivos están desapareciendo con esos bosques. La capacidad para tener acceso a toda la variedad de germoplasma que dio origen a un cultivo, es lo que hace posible que se produzcan nuevas variedades para contrarrestar la aparición de plagas o cambios en condiciones ecológicas. El ser humano, irra-

bientales adversas, es cada día más factible. La ingeniería genética hace utilizable prácticamente cualquier gen presente en el planeta. Esta nueva tecnología permite así aumentar la viabilidad de una especie, su capacidad de crecer en ambientes anteriormente adversos o



su habilidad de cumplir funciones que anteriormente no cumplía. Más de 40 especies de alimentos y fibras han sido ya transformadas mediante la ingeniería genética (Reid *et al.*, 1993).

Esto abre toda una gama de opciones para el desarrollo humano, incluyendo aplicaciones para degradar derrames de petróleo, tratamiento de basura, de aguas negras, desintoxicación química, degradación de plástico, entre otros (Reid *et al.*, 1993). Todas estas alternativas son posibles porque hasta ahora el ser humano ha tenido acceso a una gran diversidad de germoplasma. Sea producción de ganado o plantaciones forestales, biodegradadores u hortalizas, controladores biológicos o nuevos fármacos, el mantenimiento de la más amplia base posible de variabilidad genética en el planeta es esencial. El desarrollo comercial de productos agrícolas no tradicionales, tales como flores, macadamia, cardamomo, anona y aguacate, son ejemplos de nuevas alternativas que pueden beneficiar la economía de una región y que han sido posibles gracias a la existencia de un variado germoplasma.

La sociedad humana ha venido construyendo su desarrollo sobre una base de inestabilidad creciente. Una sobresimplificación del entorno natural aumenta la fragilidad de los sistemas

biológicos, de los que depende el ser humano. De mantenerse las actuales tendencias demográficas, se estima que para el año 2090, el mundo tendrá 11 000 millones de seres humanos que alimentar (National Academy of Sciences, 1992). La mayor parte de este incremento se dará en



Aun especies sin una aparente utilidad para la humanidad, pueden albergar sustancias o establecer relaciones con otros organismos que sean eventualmente de importancia fundamental para el ser humano. (Foto: L. Hilje).

países tropicales donde la biodiversidad del planeta es mayor. De continuarse con la simplificación del entorno natural, gran parte de la información genética acumulada a través de miles de millones de años de evolución desaparecerá, gran parte del potencial para mejorar cosechas, para adaptarlas a cambios ambientales, para generar nuevos productos, también desaparecerá.

El análisis de las tendencias que la vida ha llevado en el planeta durante sus 3,5 mil millones de años, sugiere que el ser humano sigue una ruta equivocada. La vida misma ha sobrevivido basada en el mantenimiento de una alta diversidad genética, de una redundancia funcional y

una tolerancia a mantener formas y funciones aparentemente intrascendentes. El mantener muestras representativas y funcionales de esta biodiversidad en todos los niveles de complejidad que exhiben los sistemas vivientes, parece ser una prudente decisión. La administración de recursos limitados y poco conocidos demanda cautela. Los países del istmo centroamericano deben de mantener sus opciones de desarrollo abiertas. El permitir la extinción de especies y sistemas, relaciones y funciones que actualmente son considerados de escasa importancia, es cerrar las opciones de desarrollo de las futuras generaciones de centroamericanos.

Jorge A. Jiménez
 Director de Programas Científicos
 Organización de Estudios Tropicales
 Apdo. 676-2050
 San Pedro Montes de Oca
 Costa Rica
 Tel: (506) 240 6696
 Fax: (506) 240 6783

Literatura citada

- JUMA, C. 1989. The gene hunters. New Jersey, E.U.A., Princeton University Press/African Center for Technology Studies. 288 p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1992. Conserving biodiversity. Washington, D.C., E.U.A., National Academy Press. 128 p.
- DOBSHANSKY, T.; AYALA, F.J.; STEBBINS, G.L.; VALENTINE, J.W. 1977. Evolution. E.U.A., W. H. Freeman and Company. 572 p.
- WILSON, E.O. 1991. Biodiversity. Washington, D.C., E.U.A., National Academy Press. 521 p.
- REID, W.; LAIRD, S.; GAMEZ, R.; SITTENFELD, A.; JANZEN, D.H.; GOLLIN, M.A.; JUMA, C. 1993. Biodiversity prospecting. Washington, E.U.A., World Resources Institute. 341 p.