

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/262298433>

Conceptos elementales de ecología con aplicaciones en el Análisis de Ciclo de Vida.

Chapter · January 2013

DOI: 10.13140/RG.2.1.2207.3689

CITATIONS

2

READS

2,727

2 authors, including:



Pedro Joaquín Gutiérrez-Yurrita

National Polytechnic Institute and Federal Attorney for Environmental Protection

228 PUBLICATIONS 1,199 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



New approaches in landscape ecology [View project](#)



That chapter is a result of my Phd Thesis. [View project](#)



DESAFÍOS AMBIENTALES

COORDINADORES:
RUBÉN CANTÚ CHAPA
ROQUE JUAN CARRASCO AQUINO
LORENZO ZAMBRANO SALGADO

DESAFÍOS AMBIENTALES

II

Los problemas ambientales ante los retos del milenio

Rubén Cantú Chapa
Roque Juan Carrasco Aquino
Ramón Rivera Espinosa
Hena Andrés Calderón
Marcos Rodolfo Bonilla González
Guillermo Torres Carral
Ciro Alfonso Serna Mendoza
Javier Pérez Corona
Heriberto Efrén Maldonado
Miguel Alvarado Cardona
Rolando Reynoso Pérez
María Concepción Martínez Rodríguez
Delia Patricia López Araiza Hernández
Luz Elena García García
Lorenzo Manzanilla López de Llergo
Miguel Alberto González González
Óscar Norberto Sánchez Hurtado
María Eugenia Gutiérrez Castillo

Luis Raúl Tovar Gálvez
Víctor Manuel Vicente Vidal Lorandi
Josué Portilla Casillas
Francisco Vicente Vidal Lorandi
Lorenzo Zambrano Salgado
Joaquín Quiroz Carranza
Citlalli Cantú Gutiérrez
Víctor Santes Hernández
Esteban López
Lorena Elizabeth Campos Villegas
Dennis Amelia Narváez Suárez
Claudia Rodríguez Tapia
Rodrigo Abraham Castro Corona
Yolanda Santiago Benítez
Ricardo Estrada Núñez
Cristina Ramos Cortez
Pedro Joaquín Gutiérrez Yurrita
Miguel Ángel López Flores



Desafíos ambientales II
Los problemas ambientales ante los retos del milenio
Coordinador

Primera edición: 2013

D. R. © 2013
Instituto Politécnico Nacional
Luis Enrique Erro s/n
Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”
Zacatenco, Deleg. Gustavo A. Madero
CP 07738, México, DF

Dirección de Publicaciones
Tresguerras 27, Centro Histórico
Deleg. Cuauhtémoc
CP 06040, México, DF

ISBN 978-607-414-

Impreso en México / *Printed in Mexico*
<http://www.publicaciones.ipn.mx>

Conceptos elementales de ecología con aplicaciones en el Análisis de Ciclo de Vida

19

PEDRO JOAQUÍN GUTIÉRREZ YURRITA
MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ FLORES

INTRODUCCIÓN

El análisis de ciclo de vida (ACV) es, como lo indica su nombre, un estudio analítico de todas las etapas del proceso de producción —o de servicio— de un determinado producto desde su inicio hasta su fin. En algunas ocasiones suele denominarse *ecobalance* a esta herramienta científica para evaluar los efectos de un producto determinado sobre el medio ambiental; así como *ecodiseño* cuando lo que se trata es de desarrollar e implementar un diseño de ingeniería del ciclo de vida de un producto encaminado al desarrollo sustentable (Capuz y Gómez, 2004).

Los procedimientos que se siguen para realizar un ACV, sea de la vertiente que sea, están detallados en una norma internacional de las denominadas ISO serie 14040. Y en México, concretamente, están regulados por la normativa mexicana NMX-SAA-14040-IMNC-2008; la cual, hay que decirlo, no es más que la misma ISO 14040.

La finalidad de utilizar el ACV en un sistema productivo, e incluso de servicios, como una depuradora de agua o una planta recicladora de materiales, es

conocer, evaluar y estimar el impacto que en el medio ambiental tiene la producción de un artefacto o de un servicio y cómo pueden optimizarse los procesos involucrados en su producción o generación del servicio. Por lo tanto, es importante recordar algunos elementos básicos de ecología con énfasis, claro está, en la biología de la conservación, por cuanto esta rama de la ecología conjunta los aspectos sociales, económicos y ecológicos en una aproximación *rizomática* en la gestión, manejo y transformación de los recursos naturales.

Las actividades productivas de la humanidad, ya sean en parques industriales, urbanos o aislados en el medio rural o natural también se consideran dentro de la biología de la conservación puesto que deben llevar asociadas un estudio de impacto ambiental y más recientemente una evaluación estratégica del paisaje. En definitiva, toda actividad humana que afecta al paisaje concierne a la conservación biológica. En esta introducción a los ACV se exponen los temas que consideramos más relevantes para entender la relación entre ACV y medio ambiental.

NOCIONES DE ECOLOGÍA

Regularidad en la naturaleza

Uno de los ecólogos más importantes e impactantes de todos los tiempos, Ramón Margalef, propuso hace más de 25 años la construcción de una teoría ecológica bajo los supuestos de que los esquemas teóricos jamás se generan con datos primarios de observación, sino que conllevan elementos externos que hacen impredecibles las regularidades descubiertas. Así, la teoría ecológica debe examinar los datos una y otra vez bajo diferentes paradigmas, pues indudablemente existirán construcciones posibles antes no sospechadas que resultarán coherentes con los nuevos conocimientos adquiridos.

La teoría ecológica debe ser, por tanto, un sistema flexible que conlleve una actitud mental abierta para ir colocando más datos que generen nuevos significados de la naturaleza, de tal forma que ésta siga siendo comprensible (Allen y Hoekstra, 1992). La ecología reconoce mecanismos y condiciones de selección, en los que se descubren regularidades en las funciones que se maximizan o minimizan con el paso del tiempo; en otras palabras, combina los niveles de organización de la naturaleza hasta el nivel donde operan las fuerzas de selección natural hoy en día también la fuerza humana y ambas en conjunto (Gibson et ál., 2000).

Las regularidades que se destacan a nivel de ecosistema, en palabras de otro eminente ecólogo, Eugene P. Odum, también se reconocen en otros niveles jerárquicos de organización y hacen pensar que realmente el concepto *ecosistema*, como se propuso originalmente,¹ debería ser modificado de

forma sustancial o relegado a un ámbito meramente operativo (O'Neill, 2001).

Las regularidades se centran en los patrones de disipación y degradación de energía (Rozdilski et ál., 2001); en su diferenciación en subsistemas que difieren unos de otros solamente en las diferentes tasas de renovación de la materia y rutas preferentes del flujo de energía (Gutiérrez-Yurrita et ál., 2002); y en la regularidad en las relaciones o intercambios que se establecen entre las unidades que componen a los subsistemas diferenciados, cuya relativa ocupación del espacio sigue también cierta regularidad, aunque más compleja de desentrañar y comprender (Salthe, 1985; Levin, 1992).

Las catástrofes y las perturbaciones ecológicas, aunque parezca raro, también tienen ciertos patrones de comportamiento y regularidades en su aparición, bien detectados por los investigadores en geofísica, ecología, climatología y astronomía. De esta forma, la teoría de las perturbaciones ecológicas establece, entre otras cosas, que los ecosistemas están sometidos a perturbaciones naturales de diferente intensidad y frecuencia inversamente relacionadas; y que esta recurrencia de las perturbaciones tiene capacidad organizativa sobre los ecosistemas (Margalef, 1997). Es decir, que las perturbaciones ecológicas de gran magnitud o fenómenos naturales catastróficos, a ojos del hombre, son parte del funcionamiento de toda la biosfera y contribuye a la disponibilidad de los recursos naturales en un ecosistema y momento dado y a la

1 A. G. Tansley acuñó el término *ecosistema* en 1935 refiriéndose a que los animales y las plantas se encuentran más asociados de lo que se encontrarían al estudiar sus comunidades de forma aislada=BIOMA (Gutiérrez, 2007). Una forma más actual de decirlo sería: una unidad paisajística (sistema homeostático) donde evolucionan conjuntamente todos sus elementos al compartir el mismo flujo de energía y reciclado de nutrientes (Whittaker, 1975). Así, la visión moderna de *ecosistema* es conceptualizarlo bajo tres perspectivas simultáneamente: 1) abstracción del funcionamiento y de la organización de la naturaleza; 2) realidad genético-funcional como resultado de una jerarquía de relaciones de dependencia entre sus componentes a diferentes escalas espacio-temporales; 3) es el paisaje, o escenario básicamente visual, de un sistema complejo de relaciones biofísicas (Montes, 1998); en otras palabras, bajo el punto de vista de la ecología integral, el *ecosistema* es la unidad perceptible multisensorialmente dentro de unos límites operativos.

continuidad del reciclado de los mismos; de igual forma, estas discontinuidades de la naturaleza — como las llamó Thom para no usar un término antropocéntrico, como *catástrofe* (Thom, 1979)—, al describirlas matemáticamente y llevar su modelo al plano ecológico, ayudan a entender las variaciones puntuales en el crecimiento de poblaciones, la estructura de una comunidad ecológica y detectar los puntos del balance ecológico en las funciones de un ecosistema. Y en suma, todo esto, lleva a la consecución de varios procesos evolutivos de las poblaciones bajo presión.²

Por ejemplo, si fallecieran súbitamente de manera proporcional varios individuos de una población depredadora y de su presa el promedio de individuos de la población presa aumentaría, mientras que el promedio de los individuos de la población depredadora disminuiría, lo que ecológicamente significa que la presa retiene una tasa neta mayor de crecimiento que el depredador (este fenómeno se denomina histéresis evolutiva y está determinado por adaptaciones a sucesivas discontinuidades demográficas producidas por factores externos al sistema), cambiando el balance competitivo entre ambas poblaciones, que de acuerdo con el modelo depredador-presa de

Lotka (1925), Volterra (1926) y Gause (1932) desarrollado para predecir la dinámica de poblaciones³ de dos poblaciones que compiten al mismo tiempo y en el mismo lugar por su supervivencia se pasa de un sistema:⁴

$$r_p - vN_d = -m_d + wN_p = 0 \quad \text{ecuación 1}$$

a un sistema:

$$r_p - vN_d k > -m_d + wN_p k \quad \text{ecuación 2}$$

donde r es la tasa de crecimiento, m es la tasa de mortalidad, p es presa, d es depredador, N número total de individuos en una población en el tiempo T , v y w son las eficacias en la relación depredador-presa, uno para capturar presas y otro para escapar del depredador, k es el factor de perturbación. En la figura 1A puede verse, de forma general, la tendencia al cambio en los sistemas compuestos por dos especies en competencia del tipo depredador-presa, cada punto origina un vector y los vectores convergen en una región restringida que a la postre da espirales muy próximas a ciclos, pero en varias dimensiones (MacArthur y Connell, 1966).

-
- 2 P. J. Gutiérrez (2004) establece que tal y como fue propuesta inicialmente la teoría de las catástrofes por Thom (1979) su vinculación con los problemas ecológicos tiene como finalidades conocer y explicar las discontinuidades en el comportamiento y evolución de los ecosistemas, para lo cual se fundamenta en dos principios: 1) el principio balance o estabilidad y, 2) el principio del cambio cualitativo o discontinuidad. El primero se refiere a un sistema que permanece estable aunque registre cambios; mientras que el segundo aparece cuando lo que son simples cambios cuantitativos transforman al sistema internamente de modo radical en una nueva situación; modifica, a su vez, la situación de estabilidad y balance interno del sistema, instaurando una nueva.
 - 3 Hay que aclarar que *ecología dinámica de poblaciones* hace referencia a estudiar el cambio de estructura de las poblaciones a través del tiempo tomando en cuenta las fuerzas que originan los cambios; mientras que *cinemática de poblaciones* hace referencia a los cambios estructurales de las poblaciones en el tiempo sin considerar los factores de presión que los originaron. La estructura de la población puede verse como las frecuencias de talla y otras cualidades —machos, hembras, reproductores, etcétera— en un momento específico. Cuando se asocia la estructura de una comunidad biótica con la disposición de las especies en el espacio, se suele denominar *arquitectura ecológica* (Nava et ál., 1996).
 - 4 De hecho, la ecuación planteada en este ejemplo es sólo una forma de representar el crecimiento numérico de individuos de dos poblaciones que coexisten, de acuerdo con la teoría de Lotka y Volterra; sin embargo, es interesante señalar que Volterra menciona una serie de regularidades ecológicas que dan sustento al modelo matemático que describe las fluctuaciones periódicas del tamaño de las poblaciones en términos numéricos. Margalef (1991) las nombró así: 1. regla de los ciclos periódicos —Gutiérrez (2004) ha demostrado recientemente que son espirales más que ciclos, al menos para ensambles dulceacuícolas—; 2. Regla de la conservación de las medias; 3. Regla de las perturbaciones medias (fue la de nuestro ejemplo); 4. Las fluctuaciones de corto periodo son isócronas y su periodo es $T=9.06$, proporcional al tiempo medio de duplicación de la población de las presas en ausencia de depredador; 5. La destrucción uniforme del depredador acelera las fluctuaciones, y las de la presa las retarda.

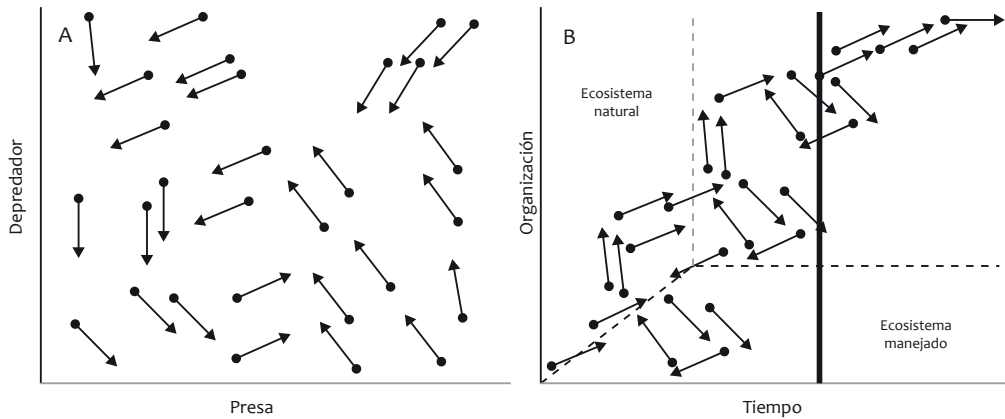


Figura 1.- A) Representación generalizada de la tendencia al cambio en un sistema compuesto por un depredador y una presa, modificado de MacArthur y Connell (14). Y B) en la organización de un ecosistema a lo largo del tiempo sugerido por Gutiérrez-Yurrita (17). Las flechas son vectores que llevan una dirección y magnitud determinada a partir de su punto de salida; hay una tendencia hacia la convergencia, pero ésta se ve modificada por las condiciones ambientales externas, las cuales también presentan espirales caóticas en varias dimensiones. Las líneas punteadas tratan de señalar que los cambios pueden ser en más de una dirección, no están regulados por la limitación gráfica de dos o tres dimensiones; la línea gruesa marca el punto en el cual el hombre hace su aparición en el ecosistema gobernándolo con directrices totalmente antropocéntricas.

En caso de que ocurra una perturbación natural, la espiral de la figura 1A se movería completamente con mayor carga hacia la presa, de acuerdo con la ecuación 2, pero mantendría en esencia la misma forma. Si se tratara de un sistema cuya perturbación fuese inducida por el hombre, entonces podría perderse la espiral y progresar el sistema hacia una asíntota; esta curva asintótica es la constancia ecológica o balance estable⁵ en el ecosistema que en todo momento busca el gestor de las áreas naturales protegidas cuando se tiene un manejo con protagonismo de las especies, como es el caso de la figura 1B (Gutiérrez, 2000).

Diversificación de la vida en la tierra

Regresando a la teoría ecosistémica de Margalef (1991), este autor hace notar que la vida se presenta descompuesta en individuos como piezas repro-

ducibles y separadas —lo que comúnmente llamamos *especies* o *poblaciones*—; pero como la tierra no es uniforme ofrece características que varían en función del lugar y del tiempo, y las homeostasis y enantostasis de los sistemas ecológicos están limitadas a un área y tiempo corto (*modus operandi* de la regularidad en ecología). La conjunción de los dos enunciados anteriores nos lleva a pensar que la vida en la tierra podría haber seguido uno de dos caminos, o ser homogénea, extremadamente plástica y adaptable a todas las situaciones terrestres; o por el contrario, a diversificarse en un gran número de formas genéticamente distintas, limitadas a vivir en un tipo concreto de ecosistema y en un tiempo relativamente corto —escala geológica, como unos cuantos miles de años—.

Obviamente la estrategia seguida por los seres vivos de este planeta es la diversificación;⁶ de aquí

5 En la teoría ecológica *equilibrio* y *balance* tienen significados distintos. El equilibrio, aunque se denomine *dinámico*, habla de un estado invariante en la naturaleza a largo plazo, esto es, se eliminan las fluctuaciones espirales recurrentes (circanuales, por ejemplo); mientras que la noción de *balance* en ecología implica movimiento continuo dentro de una estabilidad ecológica, sin dirección aparente, entre los elementos estructurales y los procesos ecológicos que dan identidad propia al ecosistema.

6 Darwin, incluso, ha mencionado que la diversificación de la vida se debe a la presión que la misma vida produce en un sistema natural y que por esta razón la vida misma también limitaría el número de formas de vida que se desarrollen; recordemos también, que Darwin no creyó nunca en el concepto de *especie biológica*.

que surja al menos una nueva pregunta cuya resolución consta de dos partes: ¿por qué al haber tanta diversidad biológica son estrechos los límites de tolerancia fisiológica y de persistencia en el tiempo de una especie?⁷

Antes de responder la pregunta sería bueno hablar de lo que se entiende en ecología por *especie*, ya que es un término sin significado natural, pero que evoca el lado práctico de la humanidad para organizar el mundo que le rodea (Mayr, 1969). En biología lo que tiene sentido ecológico es la población, ya que representa una asociación viva entre los niveles jerárquicos individuo y comunidad, con propiedades emergentes, coherencia genética entre los individuos que la componen e historia evolutiva en común, debido a las relaciones reproducción-descendencia de sus antepasados, llamado *linaje*. Técnicamente a cada población o al grupo de poblaciones con un linaje común o *filogenia* —relación existente entre ascendencia y descendencia— aunque habiten diferentes lugares, es decir, que sean *asimpátricas*, y en diferentes tiempos, *asíncronas*, dentro de un sistema multidimensional,⁸ se le llama UTO (Unidad Taxonómica Operativa).

Ahora sí, una posible respuesta a la primera parte de la pregunta es que la vida en la tierra se ha diver-

sificado y especializado porque el costo energético de ser una UTO con gran poder de adaptación y altamente plástica en su genética es comparativamente más alto, dada la gran maquinaria que debe generar para mantener sus sentidos bien desarrollados y así obtener alimento sin ser el alimento de otras UTO; el costo energético también es alto para cuidar que la extrema complejidad en la transmisión de información genética para la síntesis de proteínas no pierda exactitud; para sostener el cuidado del sistema de transmisión genética del Ácido Desoxirribonucleico (ADN) y el sistema de reparación del ADN (De Witt et ál., 1998); para mantener los sistemas internos de regulación del individuo, etc. (Gutiérrez y Montes, 1999). De esta forma se establece una correspondencia entre las propiedades del ambiente y las características de las UTO, que resulta en una enorme diversidad biológica, abundancia de las poblaciones y su dispersión⁹ en el espacio, únicas, todas estas características, de nuestra biosfera (Krebs, 1978).

La diversidad biológica es uno de los mecanismos que regulan el número de UTO que puede haber en un sistema determinado, esto es, hay una capacidad máxima de carga para cada ecosistema y ésta es similar en todos los tipos de ecosistemas, lo que hace que cada población de una UTO diferente se

-
- 7 Wilson ha mencionado en varias ocasiones que para la diversificación de la vida en la tierra se tienen que cumplir tres condiciones básicas en cualquier ecosistema (el llamado principio EEA): Energía (E) suficiente para que la vida pueda nutrirse y desarrollarse dejando descendencia fértil de forma diferencial; Estabilidad (E) de los ecosistemas para que las relaciones entre individuos de la misma o de diferente especie maduren, al igual que más tiempo para la adaptación y que los ensamblajes ecológicos encajen perfectamente en las cambiantes condiciones del ambiente, es decir, debe ser un ecosistema cuya serie se halle en el clímax local o edáfico, como lo propuso Odum (1986); Área (A) suficiente para que exista heterogeneidad paisajística y pueda haber aislamiento de poblaciones, las cuales tendrán su propio desarrollo evolutivo, con un tamaño mínimo de poblaciones para mantener la variabilidad genética —heterocigosis—, de tal forma que haya mínimas pérdidas de especies por extinción o emigración; este aspecto tiene su fundamento en la teoría del balance insular de MacArthur y Wilson (1963).
 - 8 Eldredge y Cracraft (1980) mencionan que al hablar del concepto de *especie* y de *evolución* los sistemas no dimensionales son los formados por una localidad (*simpatria*) y un tiempo (*sincronía*), donde las especies se mantienen separadas de otras especies mediante el aislamiento reproductivo. Mientras que en los sistemas multidimensionales se menciona que las especies se mantienen como unidades a través del tiempo y a pesar de los cambios ambientales que se hayan sucedido mediante su *filogenia*.
 - 9 Es importante recordar que en ecología no es lo mismo la distribución de una población que la dispersión de la misma. *Dispersión* es un concepto ecológico que tiene que ver con la forma en que están dispuestos en el espacio los individuos que componen a una población dada; mientras que *distribución* es la probabilidad estadística de hallar a un individuo en un lugar determinado. En otras palabras, la dispersión es el patrón de variación espacial de una población; y la distribución es la descripción formal de la dispersión con modelos matemáticos y análisis estadísticos de probabilidades. Se reconocen tres tipos de dispersión con implicaciones ecológicas: 1) aleatoria: ausencia de interacciones bióticas y abióticas; 2) agregada: interacciones negativas con el medio físico de la población o con individuos de otra población o con ambas; y 3) uniforme: interacciones negativas entre individuos de la misma población.

especialice frente a las otras poblaciones —esto se entiende ahora como la idea primigenia de Darwin que se planteó antes acerca de la diversificación de las formas de vida y de la no existencia de especies—. Las especializaciones acortan los límites de tolerancia y restringen la dispersión espacial de la población (Poe y Wiens, 2000). Asimismo, un sistema con poblaciones altamente específicas, es decir, con relaciones fuertes dentro de las poblaciones que componen la comunidad biológica, tiene poca conectividad, al contrario de lo que pasa con comunidades jóvenes donde las relaciones entre poblaciones son más débiles y por tanto más numerosas.¹⁰

Si se realizara una matriz con las características biológicas de las poblaciones que componen cada comunidad se tendría lo que se llama *nicho ecológico* de una especie. Y aunque por conceptualización no puede existir el nicho vacío, sí hay un número limitado de nichos en un espacio dado a un tiempo determinado (Begon y Mortimer, 1981). Así, de acuerdo con la *ecología fisiológica* de Pianka (1978) y como se aprecia en la figura 2, cada especie delimita sus óptimos fisiológicos de tal forma que siempre tengan las mayores adecuaciones biológicas, tasas de reclutamiento, de crecimiento y de supervivencia a diferentes condiciones ambientales (Gutiérrez y Montes, 2001).

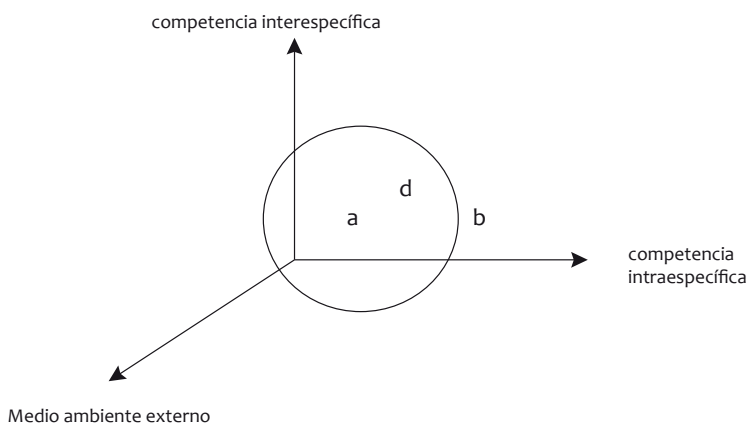


Figura 2.- Modelo de adaptación constante al ambiente (nicho ecológico). El óptimo fisiológico de una población se localiza dentro del círculo, siendo *d*, el intervalo de tolerancia de la población a la variación de los factores ambientales; *a* es el óptimo y *b* es el límite extremo, modificado de Pianka (24).

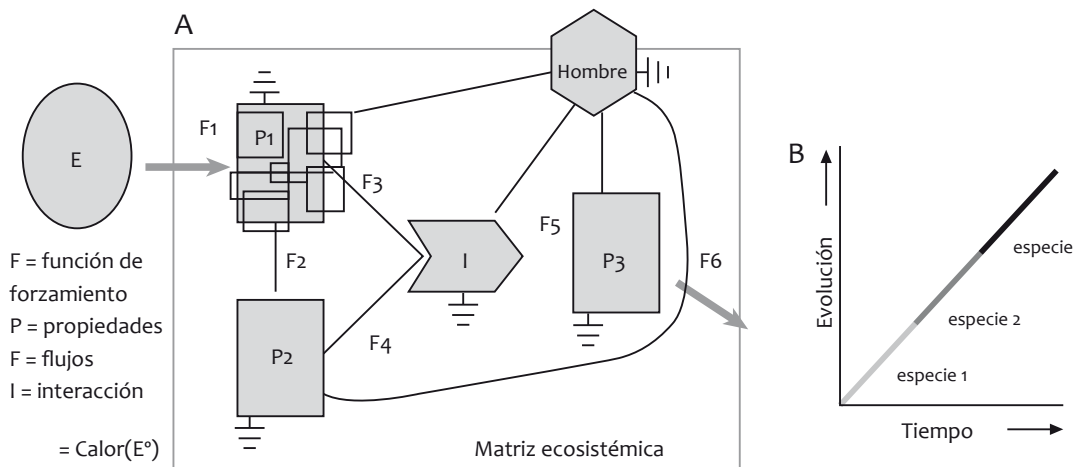
Finalmente, cada UTO establece una relación de correspondencia muy estrecha con las propiedades de su entorno y sus características intrínsecas, a tal grado de que no sólo su fisiología queda moldeada por los cambios ambientales continuos (*nictémeros*), estacionales (*zeitgebergs*) o extremistas (*catastróficos*), también su morfología o fenotipo (Poe y Wiens, 2000).

Un segundo mecanismo de control del número de UTO en un ecosistema es la evolución. Si se toma en cuenta que dentro de un ecosistema, como el que se muestra en la figura 3, existen funciones de forzamiento e interacciones, entonces, se esperaría que los componentes de cada compartimento estén sujetos a diferentes presiones de selección,

¹⁰ Richard Levins (1969), al crear el primer modelo matemático basado en el movimiento de poblaciones de especies sobre pequeños parches de vegetación desarrolló la noción de *conectividad biológica*, al tiempo que desarrolla la teoría ecológica de las metapoblaciones. En la formulación de Levins, una población de cualquier especie en un parche de vegetación puede aumentar, disminuir o desaparecer de este espacio a través del tiempo; los hábitats vacíos pueden ser repoblados si los miembros de esa población son capaces de moverse de un parche a otro, siempre y cuando haya suficiente “conectividad”. El nivel de conectividad requerido para mantener a una población en particular dependerá del tamaño de la población, las tasas de supervivencia y de nacimientos, así como el nivel de variabilidad genética de esa población (metapoblaciones).

siendo así la selección natural la que opera los cambios continuos que al quedar fijados en el genoma de los individuos, y al quedar estos favorecidos respecto a los individuos que no tienen dicha ventaja

adaptativa, los llevan a perpetuarse en el tiempo. Dicho de forma más sucinta, la evolución es el cambio en las frecuencias génicas de una población (Dobzhansky et ál., 1983).



- Componentes básicos del modelo:
- 1) función de forzamiento
 - 2) variables de estado
 - 3) vías de flujo
 - 4) funciones de interacción

Figura 3.- A) Representación generalizada del funcionamiento ecológico de un ecosistema. Las interacciones entre individuos de la misma UTO o entre varias, así como las relaciones de los individuos con el medio externo producen funciones de forzamiento que conllevan a la selección de los genotipos con mayor adecuación biológica, modificado de Odum (27). Y B) representación del proceso evolutivo “continuo” de Darwin o micro-evolución.

De esta forma cobra sentido el axioma de uno de los biólogos evolutivos más importantes de la historia, Theodosius Dobzhansky: “en biología nada tiene sentido si no se considera bajo el prisma de la evolución”. Y bajo la evidencia de que para que la evolución ocurra los individuos deben estar inmersos en una matriz de relaciones con otros individuos y con su medio físico, actualmente se puede decir que “en evolución nada tiene sentido si no se considera bajo el prisma de la ecología” (Gutiérrez, 1997); de tal manera que cobra sentido todo lo que se ha dicho y se responde la segunda parte

de la pregunta, relacionada con la persistencia en el tiempo de las Unidades Taxonómicas Operativas.¹¹

Historias de vida

Este será el último gran contenido de la ecología moderna que se tocará antes de hablar de biología de la conservación. Al igual que los tópicos tratados anteriormente, este tema crea confusión, incluso dentro de los biólogos. El término *historia de vida* se puede confundir con la idea de *ciclo de vida*. El ciclo de vida de un individuo es la serie de aconte-

¹¹ Por el carácter del artículo no se hablará de otras formas o conceptos de evolución ni de otros mecanismos evolutivos, sólo se menciona el clásico de la teoría darwiniana, pero el lector que desee saber más puede consultar los numerosos trabajos de M. Kimura acerca de los polimorfismos y de los procesos de fijación de alelos neutros; los trabajos de Gould, Niels y Eldredge acerca del equilibrio puntual, de los fenómenos macroevolutivos y en qué casos puede haber una mezcla de macro y microevolución. Dos revisiones actuales e interesantísimas de estos temas son las de Groombridge (2005) y la de Frankham, Brisco y Ballou (2002).

cimientos que progresivamente se suceden desde el nacimiento del individuo hasta su muerte, pueden describirse sus necesidades básicas para completar una fase de su desarrollo (estadio o *stanz*) y comenzar una nueva. Los individuos que no consiguen cerrar este ciclo no contribuyen al acervo genético de la población. No obstante, se deja de lado el requerimiento energético interno para que el desarrollo se lleve a cabo en cada instante del ciclo de vida; esto es, no se hace un balance de la distribución de la energía dentro del organismo para satisfacer sus necesidades de desarrollo, sólo se describen a grandes rasgos los requerimientos de hábitat para el crecimiento, la maduración y la reproducción.¹²

En el estudio de historias de vida es fundamental estimar la distribución del flujo de energía dentro de los individuos en cada etapa del desarrollo. La historia de vida sería, entonces, el conjunto de parámetros relacionados con los requerimientos y balances energéticos de un individuo desde su nacimiento hasta su muerte. Y que determinan su capacidad para *sobrevivir* y dejar *descendencia fértil*. La forma de realizar un estudio de los requerimientos energéticos de los individuos y la distribución de energía dentro de su cuerpo es a través de estudios ecofisiológicos y bioenergéticos.

El balance de energía dentro de un organismo se cuantifica mediante la ecuación del flujo de energía estandarizada por el Programa Biológico Internacional, PBI (Klekowsky y Duncan, 1975):

$$C = P + R + F + U \quad \text{ecuación 3}$$

la cual parte de una síntesis de los principios termodinámicos (Wiegert, 1968):

$$DH_s = (H_1 - H_2) + (Q_1 - Q_2) + (W_1 - W_2) \quad \text{ecuación 4}$$

al equiparar ambas ecuaciones (3 y 4) y reconociendo por un lado, que los sistemas biológicos a grandes escalas de tiempo están en equilibrio térmico, se lleva Q_1 a una equivalencia matemática de cero; mientras que por otro lado, como termodinámicamente se reconoce que $(W_1 - W_2)$ está muy cerca del cero, por tanto $DW = 0$, y puede obviarse de la ecuación. Así queda que P equivale a DH_s ; $[C - (F + U)]$ equivale a $(H_1 - H_2)$; por último, $(Q_1 - Q_2)$ equivale a $[-R]$, de esta forma, la construcción de la ecuación del balance de energía del PBI queda:

$$P = [C - (F + U)] + [-R] \quad \text{ecuación 5}$$

donde: P es la energía canalizada para la producción de tejido, es decir, crecimiento somático;¹³ C es la energía consumida en el alimento; F es la energía que se pierde en las heces; U es la energía que se pierde en la excreción nitrogenada, como la orina; R es la energía canalizada al metabolismo;¹⁴ DH_s es el cambio de entalpía general de un sistema; H_1 es la entalpía contenida en la materia que entra al sistema; H_2 es la entalpía contenida en la materia que sale del sistema; Q_1 es la energía calórica que entra al sistema; Q_2 es la energía calórica que sale del sistema; W_1 es el trabajo realizado en el sistema y W_2 es el trabajo que sale del sistema.

12 Hay que enfatizar que *crecimiento* en biología hace referencia a la adquisición de nueva materia por parte del individuo; *tasa de crecimiento* es la velocidad a la cual se incrementa la masa del individuo; mientras que *desarrollo* es la progresiva diferenciación de cada parte (órgano, sistema o aparato) de un individuo que lo facultará para realizar cosas que antes no podía, de acuerdo con los diferentes estados de su historia de vida, por ejemplo, se diferencian las gónadas al madurar, para la reproducción (Smith, 1986). Aunque el crecimiento y el desarrollo se dan simultáneamente, el desarrollo se separa del crecimiento en que puede darse una diferenciación fisiológica en un intervalo amplio de clases de talla, por ejemplo, una población bajo estrés puede presentar precocidad (maduración a tallas inferiores de las promedio para la especie bajo condiciones normales), lo que detiene el crecimiento somático y hace parecer “enanos” a los individuos que la componen, con respecto a los individuos de poblaciones sin estrés (Gutiérrez y Montes, 1999).

13 Es frecuente que P se subdivide en Producción Somática y Producción de Gametos: $P = P_s + P_g$ (Prosser, 1995).

14 Asimismo, es frecuente que R se subdivide en metabolismo basal (R_b), metabolismo de rutina o estándar (R_s), metabolismo activo (R_a) y acción dinámica específica aparente (efecto conocido como metabolismo alimentario o efecto calorigénico de los alimentos (R_{de}): $R = R_b + R_s + R_a + R_{de}$ (Brett y Groves, 1995).

Al admitir, como mencionan Begon y Colin (2005) en su ya clásico libro de “*Ecología: de los individuos a las comunidades*”, que cada historia de vida es única y por tanto, específica, se acepta que la historia de vida de una determinada población o UTO está fijada, dentro de ciertos límites, en su genotipo. Este supuesto no significa que cada historia de vida sea inmutable, sino más bien, que evoluciona con el individuo —y por tanto con la población y en general con la UTO—, de ahí que pueda decirse que hay también cierta plasticidad en las historias de vida y que esta plasticidad está determinada por las relaciones de los individuos con su entorno natural. En otras palabras, las historias de vida de cada UTO están determinadas por los procesos evolutivos de la UTO —presión de selección—, y por las relaciones que los individuos han establecido con su ambiente externo —ecofisiología y bioenergética—.

El estudio de la historia de vida de las poblaciones para obtener patrones ecológicos debe contemplar, al menos, los siguientes aspectos: tamaño máximo que alcanza un individuo promedio; tasa de crecimiento y desarrollo del individuo promedio de la población; reproducción (aspecto modular para conocer la historia de vida de una especie); características del tejido somático de los individuos (este aspecto es crucial para conocer cómo se cuidará a la progenie, cuál puede ser la longevidad de un individuo, cómo afecta la dispersión la supervivencia de los individuos, etcétera) (Begon et ál., 2005).

Como la evolución biológica se fundamenta en la selección natural y en la reproducción diferencial de los individuos (*i. e.*, cuánta descendencia fértil deja cada hembra, siendo lo que se llama *adecuación biológica*, W)¹⁵ ya que individuo que no deje descendencia fértil no es contemplado en la evolución —mientras que la selección natural favorece a los individuos con mayor adecuación—, se hace necesario comprender el valor reproductivo de los individuos. Grosso modo puede decirse que el valor reproductivo es la suma de la descendencia actual más la descendencia potencial de un individuo, llamados técnicamente: *reproducción actual neta* y *valor reproductivo residual*, respectivamente. El valor reproductivo residual puede diferenciarse, a su vez, en la esperanza de supervivencia futura y en la esperanza futura de fecundidad (Williams, 1964).¹⁶

Tanto la tasa de supervivencia como la de mortalidad de los individuos de una población queda determinada en gran parte por las relaciones de competencia entre individuos de la misma especie, de especies diferentes y de sus relaciones con el ambiente natural, de tal forma que la asignación diferencial de recursos energéticos para sobrevivir una stanza requiere en algunas ocasiones de compromisos fisiológicos —los cuales están también codificados genéticamente y modulados por la historia propia de cada individuo—. Un compromiso ecológico o *trade off* se presenta cuando hay una asignación excesiva de energía para determinada función en detrimento de otra función. Por ejemplo, en algunas aves es muy importante el color de las plumas,

15 Es interesante mencionar que el término *reproducción diferencial* está siendo sustituido en muchos libros de texto de biología por *optimización* o *maximización reproductiva*, lo cual, en ninguno de los casos, mantiene el significado original de la expresión; lo que es más, ni siquiera deberían ser sinónimos optimización y maximización, ya que bioenergéticamente y ecofisiológicamente son cosas distintas. Sahlins (1976) en una buena crítica que hace de la teoría sociobiológica explica que la alteración de términos, sin respetar el significado original de los mismos, simplemente por sustituirlos con las palabras que estén de moda en una época concreta, es una forma burda de capitalizar la biología en detrimento de su verdadero significado y epistemología: otro ejemplo: si antes se hablaba de la socialización de las teorías darvinistas, ahora se habla de capitalismo genético.

16 Hay que hacer notar que el valor reproductivo, descrito de manera formal, tiene su significado en las tablas de vida de cada población: $V_{Rx} = \sum_{t=1}^x m_t (N_T(x) / N_T(t))$, donde m es la tasa de nacimiento, l es la probabilidad de que un individuo sobreviva a diferentes estados del desarrollo de x a t , N_T es el tamaño de la población a diferentes tiempos —clases de edades— (Williams, 1964). Una tabla de vida en ecología es una forma concreta y sinóptica, a manera de cuadro o tabla, de representar cuantitativamente la mortalidad específica por edades de una población; las hay de tipo horizontal (por edad o cohorte) o vertical (a un tiempo o cohorte imaginaria) (Deevey, 1947). Aquí también cabe decir que *supervivencia* y *sobrevivencia* no son sinónimos en ecología. *Supervivencia* es la probabilidad de que un individuo llegue vivo a una edad preestablecida, y *sobrevivencia* no existe en español. Ahora bien, *sobrevivir* es la permanencia en el tiempo de un individuo después de un evento determinado.

su tamaño y vistosidad, de tal manera que se asigna una excesiva cantidad de energía para desplegar estos atributos; empero, se descuida el comportamiento precavido, los mecanismos de defensa y sistemas sensoriales que debe tener un ave para no ser depredada. Aquí, al igual que lo escrito con relación al costo energético de ser una especie plástica, adaptativamente hablando, y del costo ecofisiológico de la diversidad biológica, se considera que el compromiso ecológico trae un costo ecológico muy fuerte y es el de designar muchos recursos para obtener éxito reproductivo a expensas de perder la vida (Pedraza et ál., 2004).

Orellana (1999) hace una síntesis de cómo los compromisos ecológicos pueden verse representados en la naturaleza a través de las estrategias ecológicas de selección de historia de vida. Menciona este autor que las comunidades están moldeadas por procesos de desorganización, limitativos y organizativos; las perturbaciones antrópicas forman parte de los procesos de desorganización; las interacciones entre poblaciones son un ejemplo de procesos limitativos; mientras que como ejemplo de proceso organizativo pueden considerarse las estrategias adaptativas, ya que son el conjunto de características fenotípicas y fisiológicas que se desarrollan como respuesta a los cambios ambientales.¹⁷

Así, puede decirse que otra regularidad de la naturaleza es que se han detectado, hasta el momento,

pocos modelos de estrategias de adaptación, siendo los más estudiados el de MacArthur y Wilson (1967) denominado estrategia *r* y *k*; el denominado C-S-R de Grime (1977); el modelo de estadística multivariante con atributos ecológicos de Herrera (1984) y finalmente el del empobrecimiento de los recursos, escrito por Taylor y Col. (1990). Aunque no hay absolutos, ya que las posiciones de las poblaciones frente a los cambios ambientales no son radicales, todavía el modelo más utilizado por la mayoría de los ecólogos es el modelo que divide a toda la biota sobre la tierra en dos formas de entender la vida, llamadas estrategias *r* y *k*.

Las especies pertenecientes al grupo de estrategias *r* se caracterizan a grandes rasgos por tener una alta tasa de crecimiento, alta tasa de reproducción, ser oportunistas, vivir poco tiempo (un año o dos como mucho), poco competitivas; las especies estrategias *k* son iteróparas en su mayoría, longevas, más específicas en su hábitat, más férreas en sus interacciones competitivas, dominan las etapas medias y finales en la sucesión ecológica. El origen del modelo de estas estrategias es el modelo de crecimiento de poblaciones de Verhulst (1838), denominado genéricamente *logístico*.¹⁸

Una ampliación del modelo de MacArthur-Wilson (1967) es el desarrollado por Grime (1977), donde trata de reflejar en mayor medida las relaciones funcionales de las poblaciones y cómo se ajustan a las

17 Es importante señalar que con las tendencias actuales de gestión de recursos naturales se va cambiando el paradigma del siglo XX acerca de cómo realizar su manejo dentro de las áreas naturales protegidas (ANP). De esta forma se está transitando de unas directrices que propicien la integración hacia unas líneas de trabajo que fomenten el holismo. Savory (2005) defiende la postura holista, mientras que Wilson (2007) defiende la integral bajo el concepto de conciliencia. Gutiérrez-Yurrita (2009) sostiene que las posturas no son antagónicas, sino complementarias y menciona ejemplos concretos para llevar una política administrativa de ANP donde ambas posturas tengan cabida en lo que denomina el Holismo de la tercera cultura, el cual es más próximo a la corriente de los rizomas que a la del holismo tradicional.

18 Como las poblaciones rara vez se encuentran en condiciones óptimas o excelentes respecto a su entorno (alimento, refugio, parejas, etc.) al belga Pierre F. Verhulst (1838) se le ocurrió pensar que su crecimiento debía ser limitado. Así que, partiendo de la ecuación $Nt = Nt-1 + dN/dt$ e introduciendo la limitante (*K*), obtuvo $dN/dt = rN [(1-(N/K))]$, que resuelto queda: $Nt = No * K / No + (k-No) e^{-rt}$. En esencia, esta ecuación dice que el número de individuos de una población en un tiempo dado es la suma de los individuos que están presentes, más los que nacen (*r*), más los que llegan, menos los que mueren (*m*), menos los que se van; como los que llegan y los que se van son casi los mismos números, se eliminan estos términos para simplificar la ecuación; ahora bien, como se tiene que las tasas de nacimiento y mortalidad pueden variar instantáneamente, se realizan como una función derivada en el tiempo (dN/dT) siendo la forma más corriente de resolver la ecuación usando el logaritmo neperiano. El término *K*, o limitante del crecimiento introducido por Verhulst afecta directamente *rN*, de forma similar a como afecta la constante *K* introducida al crecimiento en la ecuación 2.

fluctuaciones del medio: Altamente competitivas (C); Resistentes al estrés (S); Tolerantes a las perturbaciones ruderales (R).

Al igual que en el modelo r y k tampoco hay absolutos, de tal forma que las combinaciones son interesantes desde una perspectiva ecológica: *Competitivas-Ruderales* (CR): bajo índice de restricción y competencia moderada; *Resistente al estrés –Ruderales* (SR): están en hábitats improductivos, ligeramente alterados; *Competitivas – Resistentes al estrés* (CS): se localizan en hábitats poco perturbados o degradados (figura 4).

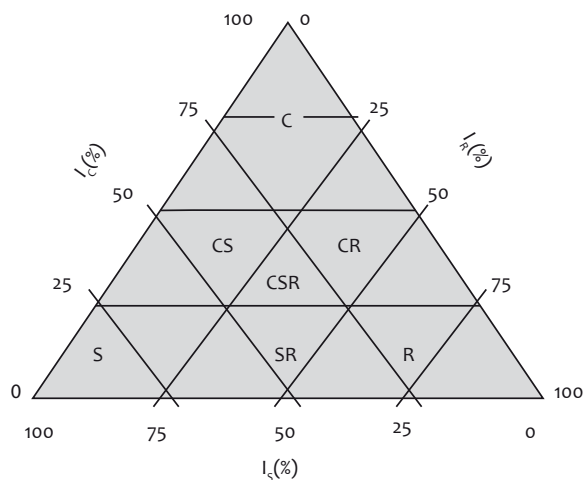


Figura 4. Diagrama teórico de las relaciones funcionales de especies que presentan estrategias de vida con características combinadas de las especies altamente competitivas (C), de las resistentes al estrés (S) y de las tolerantes a perturbaciones (R), modificado de Grime (36).

Tanto las estrategias de historia de vida como los modelos de crecimiento de poblaciones indican que en la naturaleza hay una capacidad de carga, tanto para el número de especies que puede soportar un ecosistema como para el número de individuos que pueden existir en cada población (de esta regularidad ya se habló en la sección precedente). La teoría más aceptada por los biólogos para predecir cómo se comportará un ecosistema determinado en término de número de especies

que puede soportar se denominó originalmente como *biogeografía de islas* o *modelo de balance insular* por sus proponentes MacArthur y Wilson (1967); posteriormente Smith (1986) propuso que se nombrara *ecología insular*.

La particularidad de la ecología insular radica en que menciona que el número de especies que pueden estar en un ecosistema determinado (isla) está en función del balance entre las inmigraciones y las extinciones. Y que las tasas de éstas dependen del tamaño de la isla y de la distancia entre islas (o ecosistemas similares). En la figura 5 se muestra la representación clásica de tal teoría. Esta teoría es el pilar de la actual conceptualización para la conservación biológica, de forma concreta, para el diseño de ANP y sus directrices de gestión.

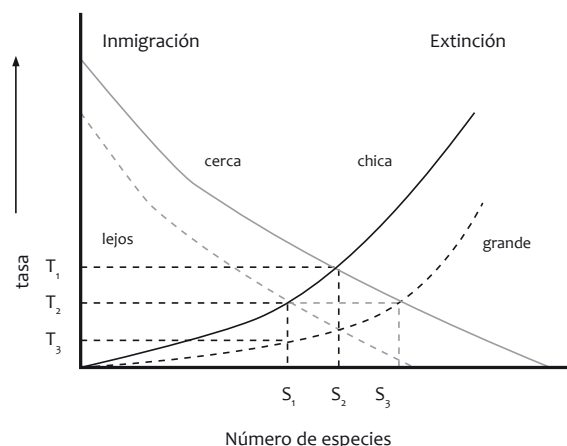


Figura 5. De acuerdo con el modelo del balance de poblaciones de islas de MacArthur y Wilson (35), islas cercanas a tierra firme tienen mayor tasa de inmigración que islas lejanas; por otro lado, la tasa de extinción es mayor en islas pequeñas que en grandes. El balance se alcanza mejor en islas grandes que en pequeñas si éstas están a la misma distancia de tierra firme. La mayor tasa de recambio de poblaciones se da en islas pequeñas cerca de tierra firme; lo contrario se da en islas grandes alejadas de tierra firme.

Las áreas protegidas pueden verse como islas circunscritas por paisajes intervenidos, en donde las

poblaciones y procesos biológicos también quedan atrapados dentro del área —la principal diferencia entre un área protegida y una isla es que la matriz que rodea a la primera tiene un ensamblaje distinto de flora y fauna que puede interactuar con el del área; mientras que el agua que rodea a la isla geográfica no lo hace—; de esta forma, cobra sentido la afirmación del asesor de la UICN¹⁹ William Douglas, cuando dice que las áreas protegidas o reservas sólo son una parte de todo el paisaje y que si se enfoca la conservación sólo en éstas se pierden muchas oportunidades para la conservación biológica. De esta forma, la UICN propone incluir la matriz del paisaje en las estrategias de conservación y planificación de las ANP mediante una serie de corredores ecológicos (UICN, 2004).

BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN

Fundamentos

La idea central de la conservación biológica, al partir de preceptos económicos, hace referencia a la protección y utilización racional de los recursos²⁰ del planeta, manteniendo la diversidad de los ecosistemas, especies y genes, así como los procesos evolutivos. Comprende, por tanto, el aprovechamiento inteligente de ciertas áreas o poblaciones biológicas; implica, además, un vasto intervalo de actividades que van desde la protección extrema que prohíbe toda clase de actividad humana (*preservación*), hasta formas innovadoras de aprovechamiento consuntivo (para llegar a la *sustentabilidad*).²¹ La sustentabilidad se coloca, entonces, en el

centro de la mira de la biología de la conservación así como del derecho ambiental como uno de los principios que ayudarían a la gobernanza de las naciones y como factor que dará coherencia a otros principios *iusambientalistas* del derecho internacional, por ejemplo.²²

Las diversas tecnologías desarrolladas para la conservación biológica están enfocadas al manejo de áreas naturales protegidas y a la preservación de la vida en bancos de genes. La conservación biológica debe conllevar en sus estrategias de trabajo planes específicos para:

- Mejorar la gestión ambiental mediante cambios en las políticas locales, regionales y mundiales.
- Elaborar programas de gestión integral de los distintos usos de suelo.
- Proteger especies, hábitats y procesos ecológicos.
- Evitar la introducción y translocación de especies y controlar las especies naturalizadas e invasoras.
- La conservación *in situ* (áreas naturales protegidas) y *ex-situ* (zoológicos, bancos de genes, etc.).
- El control de la polución y/o contaminación.
- Transitar del modelo actual de desarrollo hacia la sustentabilidad.
- Desarrollar programas de mundialización frente a globalización.
- Forjar un sistema internacional de gestión integral de áreas naturales protegidas transfronterizas, bajo el esquema ecosistémico de cuencas hidrográficas conectadas en red y ecología compleja.
- Promover la equidad social en el uso de los recursos naturales, así como otorgar poder real a la mujer.

19 UICN por sus siglas Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, aunque a partir de la reunión cuatrienal de 1990, realizada en Australia, se denomina Unión Mundial para la Naturaleza, pero mantiene las mismas siglas y nombre legal. Esta Organización ha desplegado una clasificación operativa acerca de las categorías de protección de las áreas naturales que se sigue utilizando actualmente por la mayoría de los países firmantes de los convenios de NU dentro del programa PNUMA (UICN, 1990).

20 En economía se habla de recursos naturales cuando se tiene en mente obtener provecho de la estructura ecológica de un ecosistema.

21 En la actualidad se toma al desarrollo sustentable como un camino para alcanzar la sustentabilidad; por tanto, lo que prima en todo proceso responsable de utilización de recursos es la sustentabilidad regional (Bosselmann, 2008).

22 En los últimos cinco años se ha cambiado radicalmente la doctrina del llamado *derecho ambiental* para hacer de esta disciplina del derecho administrativo un instrumento de política ambiental más eficaz. Se ha pasado de tener un derecho suave a código *iusambiental* más preventivo y precautorio que reactivo, más voluntario y reflexivo que de comando-control; así, se tiene que ahora deben realizarse estudios de evaluación estratégica del paisaje además de los ya clásicos de impacto ambiental. La tipificación de delitos ambientales ya está muy avanzada así como la responsabilidad civil por daño ambiental y la ecojusticia.

Un aspecto medular de la conservación biológica es dejar claro el papel que juega el ambiente natural en la vida cotidiana de la gente y cómo debe cuidarse la naturaleza. Así, se deben elaborar documentos que de forma simple le presente a la ciudadanía civil qué es la naturaleza, qué nos ofrece y cómo debemos cuidarla para que la calidad de los servicios que ofrece no merme, lo mismo que su cantidad; otros documentos deben contener fichas técnicas sobre ecología, biología, sistemática, economía, etc. de tal forma que el gestor o tomador de decisiones pueda elaborar estrategias administrativas públicas o privadas —según sea el caso— con fundamento técnico y bajo una base, hasta donde la ciencia pueda asegurar como adecuada, para la preservación de los procesos ecológicos y evolutivos de los sistemas naturales; desarrollar documentos técnicos encaminados a la elaboración y mejoramiento de las legislaciones vigentes en materia de *derecho ambiental*, de tal forma que éstas se encaminen hacia la conservación de la naturaleza y no a cuidar a la naturaleza para que no haya repercusiones negativas en el hombre, *i. e.*: la mayoría de las leyes que se redactaban se enfocaron en prevenir la contaminación por sus efectos negativos en la salud humana, tocando de soslayo el daño real que puede ocasionar en un proceso ecológico. A manera de ilustración puede decirse que no se protege en sí el proceso ecológico, sino los intereses del hombre sobre la naturaleza. Proteger un proceso ecológico es cuidar que continúe la vida y que siga fluyendo la energía y el curso de la evolución, en esencia, es velar por el buen funcionamiento del ecosistema.²³

En síntesis, para cubrir este aspecto debe desglosarse toda una política nueva de educación y conscientización ambiental a diferentes niveles y escalas

de tal forma que se reduzcan los potenciadores de la extinción (figura 6).

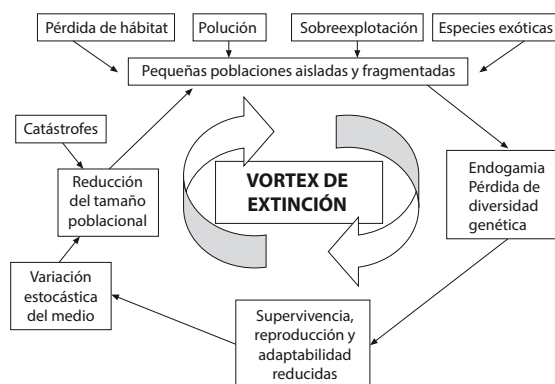


Figura 6. Elementos interactuantes que pueden llevar a las especies a la extinción, por causas naturales, antropogénicas o ambas en conjunto, modificado de López (42).

Los principales cambios en las políticas deben estar encaminados a promover grupos multidisciplinares de trabajo que abarquen distintos puntos del uso de la tierra (agricultura, urbanismo,...) y dependencias públicas (comunicaciones, medio ambiental,...). Debe tratar de unir los beneficios de la conservación a los beneficios de una economía rural e identificar los conflictos entre los usos tradicionales de los recursos y las estrategias de conservación proyectadas. Asimismo, deberá formular nuevas legislaciones donde se tome en cuenta la participación de todos los grupos interesados y/o afectados por dicha normatividad.

Es importante señalar que las políticas y normativas ya establecidas no deben aplicarse a un lugar distinto al de su elaboración, a menos que se le hagan los

23 Un proceso ecológico es, por ejemplo: la polinización de los agaves por los murciélagos. Y su protección implica proteger las especies vegetales y faunísticas involucradas directamente; si ninguna especie involucrada es considerada perjudicial para el hombre o es utilizada con fines comerciales se reducen los conflictos. Además habría que conservar los factores ambientales del medio físico que permiten la polinización y velar porque otras actividades humanas no interfieran con ellos, es decir, habría que mantener la humedad relativa y la temperatura ambiental necesaria para el proceso durante el pico reproductivo de las especies de agaves, etc. En tercer lugar habría que cuidar también los lugares potenciales para que se desarrolle la descendencia de las plantas polinizadas y los refugios de los murciélagos polinizadores, junto con toda su historia de vida (cuidar otras plantas que también son utilizadas nutrimentalmente por los murciélagos, evitar introducción de especies que pueden afectar el desarrollo de poblaciones de los murciélagos, etcétera).

ajustes necesarios, con estudios ecológicos y económico-sociales previos. De igual forma, deberán desarrollarse directrices generales para la gestión racional de los recursos y, si es necesario, se deben incorporar políticas internacionales para una eficaz gestión y desarrollo sustentable.

Dentro de las acciones para la conservación de las poblaciones biológicas cabe resaltar el número mí-

nimo de efectivos en una población para que ésta pueda continuar con su existencia y evolución natural. La teoría del balance insular de MacArthur y Wilson (1967) llevada al plano formal ha hecho que los teóricos realicen curvas de pérdida de variabilidad genética por disminución de efectivos²⁴ y endogamia, de tal forma que se espera que una población de 20 individuos desaparezca en aproximadamente 100 generaciones (figura 7).

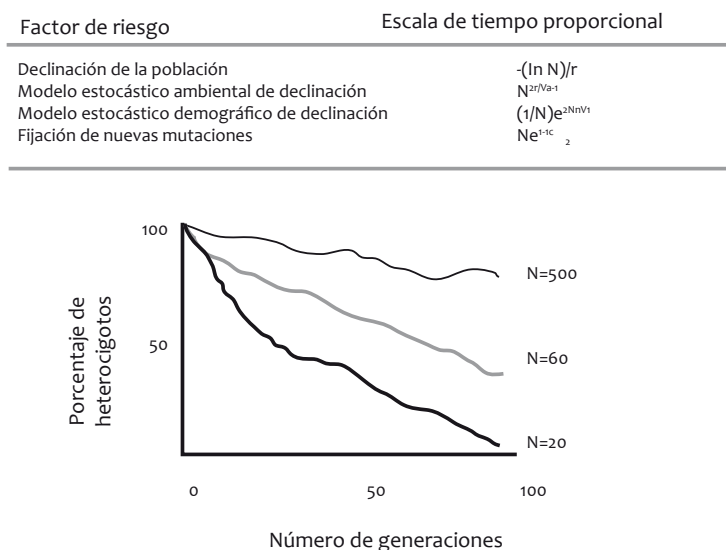


Figura 7. Tasa de pérdida de variabilidad genética y su consecuencia en el tamaño de una población. La ecuación que relaciona las curvas de la figura es: $\sigma^2 F = 1/2N$; siendo N el tamaño de la población en términos numéricos de individuos, modificada de Boitani y Fuller (43).

Hay que señalar que parte importante de la dinámica de poblaciones en la teoría del balance insular que se utiliza como modelo para la conservación biológica, en el sentido de que ayuda a diseñar las áreas naturales protegidas, es lo que la UICN (1986) denomina *efecto de rescate*. Este efecto se relaciona con la idea ecológica de metapoblaciones, es decir,

una UTO que tiene varias poblaciones regionales, separadas unas de otras por la fragmentación del hábitat, pero que en algún momento pueden tener comunicación —si hay conectividad y permeabilidad de hábitats—, y esta comunicación puede favorecerse mediante la generación de corredores ecológicos.²⁵ De hecho, se piensa que una población que

24 El término *efectivos* en ecología hace referencia a los individuos que pertenecen a una población y tienen potencialidad para reproducirse y dejar descendencia fértil.

25 Los corredores ecológicos son un instrumento útil para la implementación de los diferentes Programas de Trabajo en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica, en el sentido de que a raíz de la propuesta de la World Wildlife Foundation de dividir el mundo en ecorregiones, se haría indispensable conectar las ANP entre sí para asegurar la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos de ecosistemas, especies y genes (Abell, Olson et ál., 2000). Los proyectos de corredores ecológicos pretenden cambiar del paradigma de reservas biológicas y áreas protegidas, a escala nacional y subnacional, a corredores ecológicos, a escala de paisaje (UICN, 2004). El buen diseño de los corredores ecológicos permite maximizar la representación de diferentes regiones biogeográficas y conectar ecosistemas de tal forma que sean permeables y pueda tener éxito el concepto de *metapoblación* (Bennett, 1998).

puede servir como *fuentes* para las áreas en donde una población local esté declinando o ya se haya extinguido —estas áreas son conocidas como *piletas* y la población fuente es la que realiza el rescate—.

Existen dos modelos de metapoblaciones que son relevantes para la conservación:

- **Núcleo-satélite:** se basa en la existencia de una gran población núcleo que provee de colonizadores a las poblaciones locales que la rodean —las cuales varían en tamaño y grado de aislamiento—. En este modelo, el núcleo casi nunca se extingue, pero las extinciones locales y la recolonización suceden con frecuencia en los satélites.
- **Poblaciones en parche:** asume un conjunto de poblaciones locales aisladas que tienen posibilidades finitas de extinción. El tamaño de cada población y el arreglo espacial de este juego de poblaciones son los principales determinantes de

las tasas de colonización y extinción, y de ahí de la dinámica y distribución de las poblaciones en el ámbito regional.

En la figura 8 se aprecia el efecto del manejo de áreas naturales protegidas bajo la perspectiva de la ecología insular de acuerdo con la propuesta de Harris (1984), la cual establece que para enfrentar las dinámicas de poblaciones de áreas fragmentadas, se debe tomar en cuenta la gestión a un nivel de paisaje; pero en caso de no poder disponer de un paisaje debe buscarse la forma de conectar dos o más áreas naturales protegidas mediante corredores (sistema interconectado en red de núcleos de conservación) (Gutiérrez-Yurrita, 2007). Así se pueden conservar a las especies en peligro, asegurar el flujo genético y los procesos ecológicos y evolutivos asociados.

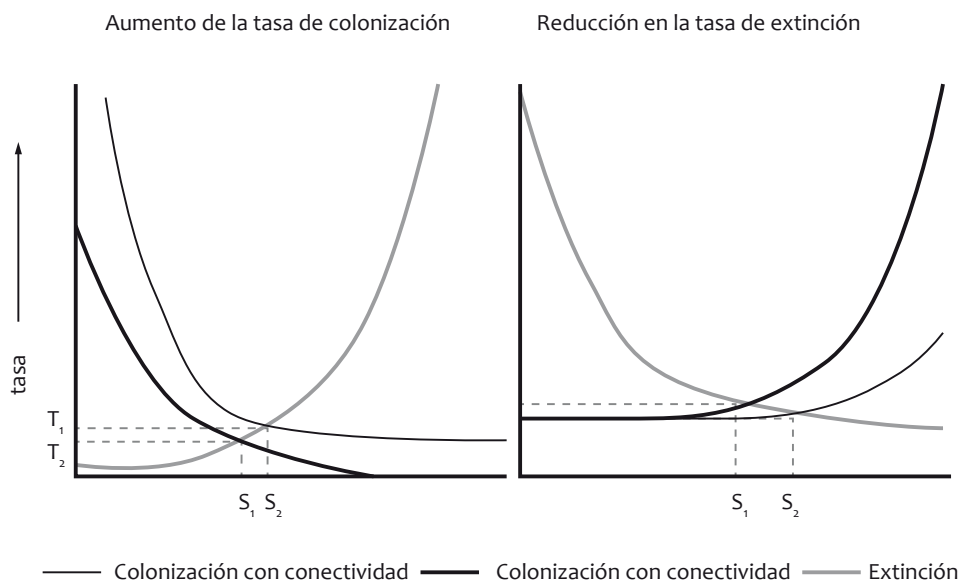


Figura 8. Diagrama teórico de cómo respondería una población manejada bajo condiciones de áreas naturales aisladas y con corredores ecológicos, adaptado de Harris (44).

Si se quiere maximizar la diversidad de las poblaciones biológicas se requiere maximizar la interacción entre ellas. De esta manera, la tasa de colonización incrementará y la tasa de extinción disminuirá, de tal forma que se logrará conservar un número mayor de especies y procesos ecológicos. Esta visión

de gestión paisajística cobró fuerza durante los 90 bajo el nombre de *gestión integrada de cuencas con enfoque ecosistémico* y ha derivado en estos últimos años en la gestión adaptativa bajo la perspectiva de la ecología integral en red.

RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DEL TRINOMIO ECOLOGÍA-BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN-ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Elementos de Ecología

La regularidad ecológica, dentro de la vasta complejidad y tendencia termodinámica al caos de los sistemas, ha permitido que la vida en la tierra haya adquirido diferentes formas de expresión y grados de especialización. Las complejas interacciones que se forman entre los genes y entre estos y el entorno natural propician que el genotipo de un organismo no especifique su fenotipo, sino más bien, que marque un margen de fenotipos posibles, o margen de reacción del genotipo (el cual no es otra cosa que los límites ecofisiológicos para que un individuo realice en condiciones óptimas la diferente asignación energética de funciones durante su historia de vida). Bajo esta premisa, la evolución es, en sentido amplio, un proceso aleatorio de generación de genotipos a través de la selección natural.

Las condiciones de selección natural dependen del nicho ecológico de las poblaciones, de la saturación de UTO en cada sistema y de la conectividad del ecosistema (interacciones²⁶ de los individuos entre y dentro de cada especie). Así pues, tanto el fenotipo ligado al genotipo como la fisiología de los individuos ligada a reacciones bioquímicas codificadas también genéticamente y la etología de cada individuo dentro de una población dependen del medio en donde se produce el desarrollo de cada individuo.²⁷ La regularidad y complejidad de la biosfera

requieren de una descripción de tipo jerárquico en la que un conjunto complejo se subdivide en varios conjuntos, que separadamente son más simples, pero que no pueden entenderse si no se contextualizan con los otros niveles jerárquicos del sistema.

Conservación biológica

La biología de la conservación, como se ha explicado en esta introducción a los ACV, representa la aplicación directa de la teoría ecológica en pro del uso permanente de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas, llamados en genérico, *recursos naturales* y *servicios ambientales*, respectivamente. Mientras que la *conservación biológica* es llevar a la práctica la teoría desarrollada en la biología de la conservación.

Durante las tres últimas décadas esta disciplina ha avanzado mucho en su forma de desarrollar programas y estrategias de gestión de la naturaleza a diversos niveles de actuación, con paisajes interconectados o no, con especies bandera o sin ellas, con corredores ecológicos permeables o sin interconectividad, y así con un largo etcétera de variantes.

Los paradigmas que más aporte conceptual han dado a la biología de la conservación son el ecosistémico, el biocéntrico e indudablemente, el holista.²⁸ No obstante, recientemente ha cobrado fuerza el paradigma de las tres ecologías de Guattari (2000), en donde la ecología funcional junto con la ecología social y la ecología emocional conjugan una relación lejos de la homogeneidad y, tendiente hacia la diferenciación. De esta manera la síntesis conceptual

26 Aunque las interacciones ecológicas son en sí un tema muy extenso que no se pretende desarrollar en este artículo, sí es importante mencionar que en ecología se entiende por *interacciones* a las relaciones entre individuos que corresponden a combinaciones positivas (+), negativas (-) y neutras (0), para generar nueve tipos: neutralismo (0,0); competencia directa y competencia indirecta (-,-); amensalismo (-,0); parasitismo y depredación (+,-); comensalismo (+,0); protooperación y mutualismo (+,+) (Odum, 1986). Hay tres principios básicos en estas relaciones: 1. las interacciones negativas predominan en comunidades pioneras o perturbadas (estrategia r); 2. la interacción negativa se reduce al evolucionar y, al desarrollarse el ecosistema crecen las positivas; 3. las relaciones nuevas son más severas y negativas que las antiguas (Begon et ál., 2005).

27 Es interesante señalar que la relación genotipo-fenotipo es unidireccional, esto es, una vez que la secuencia de nucleótidos del ADN sea transcrita a ARN y que para el caso de los genes estructurales, traducida a proteínas, no hay forma de cambiar esa síntesis de proteína y siempre aparecerá en el fenotipo la característica codificada.

28 En esta parte del texto nos referimos al holismo como una corriente de pensamiento que aglutina diversos paradigmas, como los de consiliencia, ecología compleja, ecología profunda, holismo de la tercera cultura y manejo holístico, por mencionar los más comunes.

propuesta en la teoría de la conciliencia de Wilson (1999), e incluso en la del Holismo de Smuts (1973), no tiene cabida. En las tres ecologías se propone una teoría que hace énfasis en las diferencias entre sistemas sociales, naturales y emocionales, debido a que estos se encuentran ensamblados unos con otros creando multiplicidades; este concepto es denominado *estructuras rizomáticas* (Deleuze y Guattari, 1976).²⁹

Las herramientas que más aporte técnico han brindado a la biología de la conservación son las relacionadas con la restauración ecológica, rehabilitación de ecosistemas, redirección de ciertos procesos ecológicos y revegetación, por mencionar los más utilizados. La gestión integral de microcuencas aunada a las técnicas de la gestión adaptativa y participativa han sido de ayuda para resolver dilemas centrales entre el uso de los recursos bióticos o abióticos, para dar salida económica a comunidades marginadas y para la preservación de ciertas especies decretadas en peligro de extinción, amenazadas, vulnerables o la conservación de procesos ecológicos clave para mantener la capacidad de resiliencia del ecosistema. Mención aparte merece el manejo de las áreas naturales protegidas, ya que este capítulo de las políticas públicas ambientales es probablemente el más adelantado en conceptualización, pero al mismo tiempo, el más difícil de implementar.

El manejo holístico ha permeado en muy pocas sociedades, y todavía es visto como un anatema para el desarrollo de las comunidades más desfavorecidas social y económicamente, por tanto que les limitan el uso de sus recursos naturales. Aquí es donde la ayuda de los tratados internacionales y los avances en el derecho ambiental pueden dar más sus frutos. Convenios específicos para que las comunidades con más dinero apoyen sistemas productivos más armoniosos y respetuosos con la naturaleza adyacente y con la estructura ecológica

que utilizan como materia prima las comunidades rezagadas, ya pueden signarse con cierta seguridad de que el apoyo económico y tecnológico llegará a quien lo necesita, por estar bajo la tutela del derecho administrativo internacional y los tratados vinculantes que cada país parte del convenio acepta.

Análisis de ciclo de vida

El análisis de ciclo de vida (ACV) puede verse en términos genéricos como un método de valoración para conocer los efectos sobre los distintos elementos estructurales y funcionales del ambiente de un producto específico o servicio durante toda su vida útil, de reuso, reciclada y de desecho total (SETAC). Hace referencia al conjunto de entradas, salidas y de las actividades implicadas en la producción, en el consumo/uso y en el desecho del producto considerado, desde la extracción de la materia prima del cual se constituye hasta su desecho final (Sabela, 2010). La figura 9 es un diagrama sinóptico de esta disciplina.

La definición aceptada de ACV es la consensuada en la ISO 14040:

Es un procedimiento objetivo de valoración de las cargas energéticas y ambientales relativas a un proceso o una actividad, efectuado a través de la identificación de la energía, de los materiales usados y de los desechos vertidos al ambiente. La valoración incluye el ciclo de vida completo del proceso o la actividad, comprendiendo la extracción y el tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, la reutilización, el reciclaje y el vertido final. (SETAC).

Bajo esta perspectiva el ACV nace del derecho internacional y está normado por él mismo bajo una norma de estandarización de protocolos y calidades ISO 14040. Su justificación política se enarbola

²⁹ El término *estructuras rizomáticas* hace referencia a que lo que ocurre en la naturaleza son estructuras de crecimiento indefinidas o sistemas horizontales holárquicos en donde de un nodo surgen varias líneas de crecimiento o raíces sin que por ello estén subordinadas a un eje de mayor jerarquía; de esta forma, cualquier elemento puede incidir en cualquier otro elemento.

Los temas tratados en este capítulo permiten ver notoriamente el conocimiento que se tiene del funcionamiento del medio natural y su relación con las actividades humanas, pero sobre todo dejan al descubierto la gran ignorancia que todavía se tiene sobre cómo gestionar los recursos naturales, máxime cuando se trata de un manejo bajo el paradigma rizoma.

Quedan al descubierto, de igual forma, los grandes retos que se deben resolver para lograr una transición armoniosa del actual sistema de producción, economía, estilo de vida, etc. para alcanzar la sustentabilidad regional. Y finalmente, estos temas dejan ver en dónde falla todavía la teoría ecológica.³¹

CONCLUSIONES

El análisis de ciclo de vida es un estudio analítico de todas las etapas del proceso de producción o de servicios ofrecidos, de un determinado producto desde su inicio hasta su fin, dando especial importancia en la evaluación de los efectos del producto o servicio sobre el medio ambiental.

Los procedimientos que se siguen para realizar un ACV se localizan en las normas ISO-serie-14040. Y en México, concretamente, están regulados por la normativa mexicana NMX-SAA-14040-IMNC-2008.

La teoría ecológica procede de un conocimiento del medio ambiental, social y económico con alta dosis de incertidumbre, por lo cual se convierte en una especie de ciencia incierta en la cual sólo se reconocen ciertos patrones de funcionamiento, que son los que la hacen predecible dentro de aceptables intervalos de confianza.

El estudio de la ecología debe ser flexible y conllevar una actitud mental abierta para ir colocando

más datos (según el mejoramiento técnico y enriquecimiento conceptual con el paso del tiempo), que generen nuevos significados de la naturaleza, de tal forma que ésta siga siendo comprensible.

La relación entre una metodología empleada para realizar ACV y los elementos de ecología ecosistémica de cara a la conservación biológica es inseparable ya que no es posible entender un proceso productivo o de servicios que impliquen los recursos naturales u otros impactos ambientales, si no se conocen los elementos básicos del funcionamiento de la naturaleza y su relación con el hombre.

La transición del esquema actual de producción hacia uno que permita la sustentabilidad regional sólo puede realizarse con una aproximación holística, integral, adaptativa y participativa de todas las partes involucradas en los procesos productivos o de servicios.

FUENTES CONSULTADAS

- Abell, R. A.; Olson, D.M.; Dinerstein, E.; Hurley, P. T.; Diggs, J. T.; Eichbaum, W.; Walters, S.; Wettenberg, W.; Allnutt, T.; Loucks, C. y Hedao, P. (2000). *Freshwater Ecoregions of North America. A Conservation Assessment*, Island Press, Washington.
- Allen T. F. H. y T. Hoekstra (1992). *Toward a Unified Ecology*, Columbia University Press, EUA.
- Begon, M. y M. Mortimer (1981). *Population Ecology. A Unify Study of Animals and Plants*, Blackwell Sci. Pub, Londres.
- Begon, M., C. Townsend y J. Harper (2005). *Ecology. from Individuals to Ecosystems*, 4ª ed, Blackwell Synergy, Reino Unido.
- Bennett, A. F. (1998). *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*, IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.

31 Por ejemplo: aunque se conecten áreas naturales protegidas ¿cuál es el efecto borde de los corredores? ¿si se sabe qué y cómo conservar, por qué se vienen abajo los Parque Nacionales y se pierde biodiversidad a nivel mundial?; las zonas decretadas como puntos calientes -hot spots- ¿realmente son las más propicias para la conservación cuando hay que decidir entre representatividad y representación paisajística? Bajo una política conservacionista a nivel de genes ¿qué debería ponderarse más, los sitios de endemismos o los sitios de radiación adaptativa? Todas estas preguntas son difíciles de contestar y, sobretodo, conciliar con el desarrollo económico y social de las naciones.

- Bosselmann, K. (2008). *The Principle of Sustainability. Transforming Law and Governance*, Ashgate, Nueva Zelanda.
- Boitani, L. y T. K. Fuller (2000). *Research Techniques in Animal Ecology. Controversies and Consequences*, Columbia University Press, Nueva York.
- Brett, J. R. y T. D. D. Groves (1979). "Physiological energetics", en: *Fish Physiology*, Vol. VIII, Hoar (Ed.), Academic Press, EUA.
- Capuz-Rizo y T. Gómez-Navarro (2004). *Ecodiseño*, Alfaomega, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Deevey, E. S. (1947). "Life Tables for Natural Populations of Animals", *Quarterly Reviews in Biology*, 22: 283-314.
- Deleuze, G. y Guattari, F. (1976). *Mille Plateaux*, Les Editions de Minuit. París.
- DeWitt T. J., A. Sih y D. S. Wilson (1998). "Costs and Limits of Phenotypic Plasticity", *Trends in Ecology and Evolution*, 13: 77-81.
- Dobzhansky, T.; F. Ayala; G. L. Stebbins y J. W. Valentine (1983). *Evolución*, Omega, España.
- Eldredge, N. y J. Cracraft (1980). *Phylogenetic Patterns and the Evolutionary Process. Method and Theory in Comparative Biology*. Columbia University Press, Nueva York.
- Frankham, Brisco y Ballou (2002). *Introduction to Conservation Genetics*, Cambridge University Press, Londres.
- Gause, G. F. (1932). "Ecology of populations", *Quart. Rev. Biol.*, 7: 27-46.
- Gibson, C. C., E. Ostrom y T. K. Ahn (2000). "The Concept of Scale and the Human Dimensions of Global Change: a Survey", *Ecological Economics*, 32: 217-239.
- Grime, J. P. (1977). *Estrategias de adaptación de las plantas*, Limusa, México.
- Groombridge, J. (2005). *Evolutionary genetics and conservation*, Kent University Press, EUA.
- Guattari, F. (2000). *The Three Ecologies*. The Athlone Press, Londres.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (1997). *El papel ecológico del cangrejo rojo (Procambarus clarkii)*, en *el Parque Nacional de Doñana. Una perspectiva ecofisiológica y bioenergética*, Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. y C. Montes (1999). "Bioenergetics and Phenology of Reproduction of the Introduced Red Swamp Crayfish *Procambarus clarkii* in Doñana National Park (Spain), and implications for management", *Freshwater Biology*, 42: 561-574.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. y C. Montes (1999). "Population Dynamics and Phenotypic Comparisons Among Six Populations of *Procambarus clarkii* from the Doñana National Park (SW-Spain)", *Freshwater Crayfish*, 12: 629-642.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2000). "Reflexiones sobre la gestión de los cuerpos de agua epicontinental y su papel en la cultura", *Zoología Informa*, 43:27-57.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. y C. Montes (2001). "Bioenergetics of Juveniles of Red Swamp Crayfish (*Procambarus clarkii*)", *Comparative Biochemistry and Physiology*, 130 (1):29-38.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J.; A. Morales; A. Oviedo y C. Ramírez (2002). "Distribution, spread, habitat characterisation and conservation of the crayfish species (Cambaridae) in Queretaro (Central Mexico)", *Freshwater Crayfish*, 13: 288-297.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2004). "El paradigma de la ecología integral en la gestión de los recursos naturales", *Sapere*, 1(1):4-13.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2007). "Configuración ecológica del medio ambiental como bien jurídico", *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 2 (12): 263-285.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2009). *¿A diseñar el futuro!: El holismo de la tercera cultura, la integración de las ciencias con las humanidades*, IPN-CEJA, México.
- Harris, J. H. (1984). "An Experimental Analysis of Desert Rodent Foraging Ecology", *Ecology*, 65: 1579-1584.
- Herrera, C. M. (1984). "Tipos morfológicos y funcionales en plantas del matorral mediterráneo del sur de España", *Studia Oecologica*, 5: 7-34.
- Klekowsky, R. Z. y A. Duncan. (1975). "Review of Methods for Identification of Food and Measurement of Consumption and Assimilation Rates",

- en: Grodzinski, H. y col (eds): *Methods for Ecological Bioenergetics*, IBP. No. 24 Blawell Scir. Publ., Oxford.
- Krebs, Ch. (1978). *Ecology. The experimental Analysis of Distribution and Abundance*, Harper & Row, EUA.
- Levin, S. (1992). "The Problem of Pattern and Scale in Ecology". *Ecology*, 73: 1943-1967.
- Levins, R. (1969). "Some Demographic and Genetic Consequences of Environmental Heterogeneity for Biological Control", *Bulletin of the Entomological Society of America*, 15, 237-240
- Lotka, A. J. (1925). *Elements of Physical Biology*, Williams and Wilkins, Baltimore.
- MacArthur, R. y E. O. Wilson (1963). "An Equilibrium Theory of Insular Zoogeography", *Evolution*, 17: 373-387.
- MacArthur, R. y J. H. Connell (1966). *The Biology of Populations*. John Willey & Sons, Nueva York.
- MacArthur, R. y E. O. Wilson. (1967). *The Theory of Island Biogeography*, Princeton University Press, EUA.
- Margalef, R. (1991). *Ecología*, Omega, España.
- Margalef, R. (1997). "Our Biosphere", en: O. Kinne (ed.): *Excellence in Ecology*, No. 10, Ecology Institute, Oldendorf.
- Mayr, E. (1969). *Principles of Systematic Zoology*. McGraw-Hill, Nueva York.
- Montes, C. J. Borja y M. A. Bravo (1998). *Parque Nacional de Doñana. Reconocimiento Biofísico de Espacios Naturales Protegidos*, Junta de Andalucía, España.
- Naciones Unidas (2000). *Declaración de Malmö*, Suiza.
- Nava, R., R. Armijo y J. Gastó (1996). *Ecosistema. La unidad de la naturaleza y el hombre*, Trillas, México.
- Odum, E. P. (1971). *Ecología*, Editorial Interamericana, México.
- Odum, E. P. (1986). *Fundamentos de ecología*, McGraw-Hill, Interamericana, México.
- O'Neill, R. V. (2001). "Is it Time to Bury the Ecosystem Concept? (with full military honors, of course!)", *Ecology*, 82: 3275-3284.
- Orellana, R. (1999). "Respuestas de las plantas al ambiente por medio de sus estrategias morfológicas funcionales", en: Orellana R. y col.: *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*, CiCy, México.
- Pedraza-Lara, C., A. López-Romero y P. J. Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2004). "Preliminary Studies Concerning Phenotype And Molecular Differences Among Freshwater Crayfish from The Genus *Procambarus* in Sierra Gorda Biosphere Reserve, México. *Freshwater Crayfish*, 14: 232-240.
- Pianka, E. R. (1978). *Evolutionary Ecology*. 2ª Ed. Harper & Row, Nueva York.
- Poe, S. y J. J. Wiens. (2000). "Character Selection and the Methodology of Morphological Phylogenetics, en: Wiens, J.J. (Ed.): *Phylogenetic Analysis of Morphological Data*, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Prosser, Ch. (1995). *Environmental Physiology*, 3ª ed, MacGraw y Hill. New York.
- Rozdilski I. D., J. Chave, S.A. Levine y D. Tilman, (2001). "Towards a Theoretical Basis for Ecosystem Conservation", *Ecological Research*, 16: 983-995.
- Sabela, A. (2010). *El análisis de ciclo de vida como herramienta de valoración proyectual*, en: Espacio de reflexión y comunicación en Desarrollo Sostenible.
- Sahlins, M. (1976). *Uso y abuso de la biología*, Siglo XXI, España.
- Salthe, S. (1985). *Evolving Hierarchical Systems: Their Structure and Representation*, Columbia University Press, Nueva York.
- Savory, A. (2005). *Manejo holístico. Un nuevo marco metodológico para la toma de decisiones*. SEMARNAT-INE-FMCN, México.
- SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) esta sociedad ha definido jurídicamente la ISO 14040.
- Smith, R. L. (1986). *Elements of ecology*, 2ª ed, Harper & Row Pub, EUA.
- Smuts, J-C. (1973). *Holism and Evolution*, Greenwood Press, Westport, EUA.
- Tansley, A. G. (1935). "The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms", *Ecology*, 16: 284-307.
- Taylor, D. R.; L. W. Aarsen y C. Lohle (1990). "On the Relationships Between r/K Selection and Environmental Carrying Capacity: a New Habitat Templet for Plant History Strategies", *Oikos*, 58: 239-250.

- Thom, R. (1979). *Théorie des catastrophes et biologie*, Instituto de Altos Estudios Científicos, Francia.
- UICN (1990). *United Nations List of National Parks and Protected Areas*, Gland, Suiza.
- UICN (2004). *Los corredores ecológicos en la perspectiva del Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Gland, Suiza.
- Verhulst, J. P. (1838). *Population Dynamics*, Nueva York.
- Volterra, V. (1926). "Variations and Fluctuations of the Number of Individuals in Animal Species Living Together", en: Chapman, R. N. (Ed.): *Animal ecology*. McGraw Hill Book, Co. Inc., Nueva York.
- Whittaker, R. H. (1975). *Communities and Ecosystems*, McMillan Pub. Inc, Nueva York.
- Wiegert, R.G. (1968). "Ecological Energetics", en: R. Wiegert (Ed): *Thermodynamic in Animal nutrition*. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Benchmark Paper in Ecology, Vol. 4. Pp.: 15-25.
- Williams, C. B. (1964). *Patterns in the Balance of Nature and Related Problems in Quantitative Ecology*, Academic Press, Nueva York.
- Wilson, E. O. (1999). *Conciliencia. La unidad del Conocimiento*, Galaxia Gutenberg (Círculo de lectores), Barcelona.
- Wilson, E. O. (2007). *Conciliencia*, Círculo de Lectores, España.