

---

# EL MANEJO DE LA BIODIVERSIDAD EN EL SIGLO XXI

ARIEL E. LUGO

---

El ser humano está transformando rápidamente el planeta Tierra (Meyer y Turner, 1994; Vitousek *et al.*, 1997a). Su actividad tiene efectos globales que modifican el ambiente terrícola (Tabla I). Estos cambios, que comenzaron con la revolución industrial del siglo XIX, serán más notables en el siglo XXI en lo que se ha denominado la era Homogeocena donde el efecto dominante del ser humano sobre la biosfera será incuestionable (Putz, 1997).

El contexto ecológico en los próximos 30 años es fácil de predecir pues ya las tendencias más importantes están en movimiento. La concentración de gases atmosféricos continuará cambiando, la demanda de recursos naturales por parte del ser humano aumentará al igual que la población. Vamos a generar más desperdicios y habrá más presión sobre el uso de la tierra y el agua. El clima cambiará y debido a nuestra falta de conocimiento podemos contar con sorpresas tales como eventos naturales extremos, el impacto de un meteorito, alguna invasión biológica o una epidemia. Además de las sorpresas en los eventos de perturbación, existe mucha incertidumbre en la reacción de los sistemas ecológicos al contexto ecológico futuro. Los ecosistemas pueden reaccionar en sinergia con otros fenómenos naturales o antropogénicos, exhibir discontinuidades en su comportamiento o desarrollar tendencias difíciles de detectar antes de que sea muy tarde.

Es esencial considerar el factor sorpresa y la incertidumbre al planificar el manejo de la biodiversidad, particularmente con los sistemas tropicales por su complejidad y tendencia a responder y evolucionar en direcciones difíciles de predecir (Bright, 2000). El contexto ecológico durante el Homogeoceno se puede resumir como uno de cambio continuo e incierto en las condiciones ambientales. Ante un futuro incierto y cambiante, ¿cuáles son las estrategias a seguir en el manejo de la biodiversidad?

La Tabla II contiene una lista de estrategias a seguir en programas de manejo durante períodos de cambio continuo. La lista destaca la necesidad de mantener una actitud flexible y holística, aplicar el conocimiento científico, trabajar en armonía con los procesos y leyes naturales, reparar los daños hechos a sistemas naturales y medir continuamente los resultados de las acciones para retroalimentar los planes de manejo, o sea, llevar a cabo manejo adaptativo utilizando información concreta para ajustar los procedimientos y las expectativas del manejo (Bormann *et al.*, 1994). En el Homogeoceno el ser humano tendrá que intervenir con la biodiversidad del planeta a escalas más extensas de como lo ha hecho hasta el presente. No podemos darnos el lujo de continuar impactando el planeta sin resolver los problemas que hemos creado. Así como el uso desmedido de la tecnología causa problemas ambientales, esa misma tecnología debe uti-

lizarse para resolver los problemas y tomar posturas proactivas hacia el sostenimiento del funcionamiento de los ecosistemas. Ante esta situación, ¿qué tiene la ecología que aportar en el Homogeoceno?

## La Biodiversidad del Siglo XXI

De acuerdo a Putz (1997) y McKinney y Lockwood (1999), el Homogeoceno se caracterizará por la homogeneización de la flora y fauna del mundo. El argumento de homogeneización de la biota se basa en los siguientes razonamientos (McKinney y Lockwood, 1999):

- El ser humano está causando una extinción masiva de especies.
- Entre las especies extintas, la fracción principal está compuesta por las especies raras y endémicas (especies desfavorecidas por el ser humano).
- Los cambios ambientales causados por el ser humano desfavorecen especies con características particulares y favorecen especies con distribución amplia y capaces de asociarse con el ser humano (Tabla III). Muchas son forasteras<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Especies forasteras son aquellas introducidas por el ser humano a una región. Las que logran reproducirse y sobreviven sin la ayuda del ser humano se consideran naturalizadas. Se utiliza el término "forastera" por ser más neutral que "exóticas." Especies invasoras pueden ser nativas o forasteras. Para una discusión balanceada en torno a las especies forasteras ver a Ewel *et al.* (1999).

---

**PALABRAS CLAVE / Biodiversidad / Homogeneización de Flora y Fauna / Homogeoceno / Semillazón Múltiple / Manejo de Ecosistemas /**

Recibido: 07/06/2001. Aceptado: 09/08/2001

---

Ariel E. Lugo. **Ecólogo. Director del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Investigación en el Funcionamiento de ecosistemas tropicales. Dirección: PO Box 25000 Río Piedras, PR 00928-5000, Puerto Rico. e-mail: a\_lugo@upr1.upr.clu.edu**

---

TABLA I  
EVIDENCIA DEL DOMINIO DEL SER HUMANO SOBRE LAS CONDICIONES  
EN EL PLANETA TIERRA

Evento o Situación	Referencia
La fijación de nitrógeno por el ser humano es mayor a la fijación de nitrógeno por procesos naturales.	Vitousek <i>et al.</i> , 1987b.
La humanidad consume el 40% de la producción primaria neta del planeta.	Vitousek <i>et al.</i> , 1986.
La actividad humana es responsable por la reducción del ozono de la atmósfera.	Harrison y Matson, 2001
La actividad humana ha causado un aumento >30% en la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera.	Wigley y Schimel, 2000; Harrison y Matson, 2001
La humanidad consume una porción significativa de la escorrentía de los ríos al mar.	Postel <i>et al.</i> , 1996; Johnson <i>et al.</i> , 2001

- Contrario a las especies raras y endémicas, las especies forasteras representan una fracción pequeña de la riqueza total de especies.
  - Muchas especies desfavorecidas serán reemplazadas por pocas especies favorecidas, lo cual lleva a la homogeneización de la flora y fauna.
  - El problema de la homogeneización se complica debido a que la distribución de las especies desfavorecidas y favore-
- cidas en término de sus grupos taxonómicos y ecológicos no es al azar. Algunos grupos –como las cotorras– o habitats –como los ríos– sufren extinciones proporcionalmente más severas, lo que pone en peligro que se pierdan grupos de organismos ó habitats funcionalmente importantes a los ecosistemas.
- El argumento numérico se basa en la predicción de que más del

TABLA II  
ALGUNAS ESTRATEGIAS DE MANEJO QUE FACILITAN LIDIAR CON LOS  
CAMBIOS GLOBALES Y EL FUTURO INCIERTO DEL HOMOGEOCENO\*

Estrategia	Justificación
Oportunismo y flexibilidad.	El antítesis del dogmatismo redundando en mejores frutos en periodos de incertidumbre.
Manejo holístico.	Necesario en un mundo complejo.
Manejo basado en la ciencia.	Necesaria para obtener conocimiento, identificar oportunidades, anticipar eventos y proveer alternativas.
Emular procesos naturales.	Reduce costos de manejo y aumenta la eficacia.
Manejar la sucesión.	Forma de trabajar con la naturaleza y no en contra.
Rehabilitación de sistemas degradados.	Con la reducción en la disponibilidad de áreas sin desarrollar, es necesario reparar los daños hechos a los sistemas naturales.
Uso de semillazón múltiple.	Técnica que aumenta el número de opciones al establecimiento de especies en sistemas degradados.
Uso del autodiseño de ecosistemas.	Propiedad de sistemas que permite la selección natural ante las condiciones creadas por el ser humano. Reduce el costo de adivinar qué especies son propicias para un sitio.
Monitoreo constante y retroalimentación a los planes de manejo.	Esta acción lleva a manejo adaptativo -la posibilidad de ajustar estrategias de manejo y adaptarse a condiciones cambiantes.

\*Se asume que el conocimiento adquirido a través de la experiencia y la investigación será utilizado óptimamente.

50% de las especies presentes en la biosfera o se extinguen o se aíslan en hábitats fragmentados a causa de la actividad humana. Anticipa que sólo el 1 al 2% de las especies son invasoras y el 5 al 29% de las especies nativas expandirían sus distribuciones como resultado de los cambios causados por el ser humano. Aun sumándole el 1% de especies domesticadas [-50 + (2 + 29 + 1) = -18], la biosfera tendría más individuos de menos especies y por lo tanto la flora y fauna estaría homogeneizada. El resultado de la homogeneización sería la prevalencia de un menor número de ecosistemas de composición simplificada.

La situación futura de la flora y fauna del mundo no es tan simple como se ha planteado. No es debatible que la actividad humana modifica hábitats y causa extinciones de especies y la dispersión de especies forasteras. Sin embargo, los razonamientos de McKinney y Lockwood son debatibles debido a la falta de información sobre la magnitud de los procesos mencionados y sus consecuencias. No es objetivo de este trabajo debatir cada argumento presentado a favor de la homogeneización de la biota, sin embargo, hay dos argumentos que hay que tomar en consideración. Primero, la magnitud de las extinciones causadas por el ser humano es difícil de estimar debido a falta de información sobre el número de las especies y por la incertidumbre en utilizar la relación especie-área para estimar las extinciones futuras (Lugo, 1988; Lugo y Brown, 1996). Por ejemplo, el uso de la relación especie-área para estimar extinciones asume que el número de especies en áreas deforestadas se reduce a cero, ignora el enriquecimiento de especies durante la sucesión y asume que la deforestación es irreversible.

Segundo, la información empírica no apoya la idea de homogeneización. Por ejemplo, en el caso de Puerto Rico y otras islas caribeñas y del Pacífico, el efecto neto de la actividad humana es el incremento en el número de especies y de ecosistemas en esas islas (ver Tabla 19.2 en Lugo y Brown, 1996). El número de especies de plantas (Acevedo Rodríguez, 1996; Francis y Liogier, 1991), aves (Brash, 1984), lombrices (Sonia Borges, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, comunicación personal) y hormigas (Torres y Snelling, 1997) en Puerto Rico se estima que es hoy mayor que antes del contacto con los europeos. De igual manera, las asociaciones de bosques en Puerto Rico son hoy más numerosas y contienen nuevas combinaciones de especies, enriquecidas por las especies naturalizadas en la isla (Lugo, inédito).

Para los propósitos de este ensayo no es necesario resolver el problema de la homogeneización de la flora y la fauna del siglo XXI. Sólo se plantea el problema con el propósito de presentar el contra-argumento que sugiere el enriquecimiento de la biodiversidad local por medio de la recombinación de especies y la creación de nuevos hábitats y ecosistemas. Tampoco se menosprecia el problema de la pérdida de especies endémicas, las cuales ameritan conservación urgente. El interés es presentar pautas para el manejo de la biodiversidad esté o no homogeneizada.

La biodiversidad del planeta nunca se ha mantenido estática. Siempre ha cambiado en función de los cambios que sufre la Tierra (Behrensmeyer *et al.*, 1992). Históricamente, cada generación y cada sistema económico ha estado asociado a un paisaje distinto con distinta composición de especies y comunidades (Lugo, 1996). Podemos asumir que irrespectivamente de la homogeneización, la flora y fauna del siglo XXI será distinta a lo familiar en los siglos XIX y XX. Además, esa flora y fauna funcionará en ambientes dominados por el ser humano, lo cual tiene implicaciones en cuanto a cómo enfocar su manejo.

A pocos años de la inauguración del Centro de Ecología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas se publicó un libro titulado *Ecosistemas frágiles* (Farnworth y Golley, 1974) y otro titulado *La jungla amazónica: de infierno verde a desierto rojo?* (Goodland y Irwin, 1975). Estos dos títulos reflejan la visión norteamericana de los bosques tropicales, visión que aún perdura en algunos sectores. Los bosques tropicales se consideran frágiles, junglas impenetrables y de fácil conversión a sistemas altamente degradados. Esta visión lleva a un estilo de conservación preservacionista que, a pesar de sus méritos, no es el único enfoque para soluciones sustentables a los problemas ambientales de la región tropical. Más aun, el paradigma de la fragilidad de bosques tropicales se ha descartado a la luz de estudios ecológicos recientes (Lugo, 1995; Lugo *et al.*, 2000). Además de los bosques adaptados a huracanes en el Caribe, bosques tropicales en zonas continentales están expuestos a perturbaciones naturales por fuegos, tormentas de viento, sequías, inundaciones y otras que requieren respuestas elásticas para prevalecer en ambientes con perturbaciones periódicas. De hecho, las especies primarias dominantes en los doseles de bosques tropicales continentales -como *Swietenia macrophylla* (Lamb, 1966)- requieren de perturbaciones para asegurar su regeneración (Denslow, 1987). Los bosques tropicales

TABLA III  
CARACTERÍSTICAS QUE DETERMINAN QUÉ ESPECIES SON FAVORECIDAS O DESFAVORECIDAS POR EL SER HUMANO (McKinney y Lockwood, 1999).

Favorables a la expansion	Favorables a la extinción
Tamaño pequeño	Tamaño grande
Alta fecundidad	Baja fecundidad
Alta variabilidad	Baja variabilidad
Distribución amplia	Distribución limitada
Rápida dispersión	Dispersión lenta
Generalista	Especialistas
Comensalismo con el ser humano	Pobremente adaptadas al ser humano

se consideran resistentes y elásticos (*resilient* en inglés) a perturbaciones naturales, aunque son vulnerables a transformaciones causadas por el ser humano. Este nuevo paradigma le da paso a un estilo de conservación distinto al preservacionista.

El debate sobre la conservación de la biodiversidad tropical en parte se debe a la resistencia a aceptar el cambio ambiental y en parte a que las situaciones que observamos con el uso de los recursos naturales podría manejarse con más efectividad. Sin embargo, debemos tener cuidado que por salvar la biodiversidad tropical no la perdamos (Lugo, 1999). La biodiversidad tropical puede ponerse en peligro si las estrategias de conservación no toman en cuenta las necesidades del ser humano y los cambios que está sufriendo el planeta. La ecología puede iluminar el debate interpretando objetivamente las tendencias que sufre el planeta y proveyendo alternativas de uso de recursos naturales a la luz de principios ecológicos actualizados. La ecología debe proveer entendimiento sobre los ecosistemas. ¿Cuáles son? ¿Cómo funcionan? ¿Cuáles son sus límites y sus posibilidades de uso? Este tipo de información genera alternativas que proveen flexibilidad al manejo de ecosistemas. El ser humano necesita esa flexibilidad para afrontar el futuro incierto. La ecología puede proveer la información necesaria para asegurar que al desarrollar estrategias de uso de recursos naturales no se destruya la capacidad de funcionamiento de los ecosistemas ni se pierdan recursos genéticos (especies).

### El Manejo de Ecosistemas

Los organismos forman la base de la biodiversidad, pero funcionan en el contexto de ecosistemas (*sensu* Evans, 1956). Es por eso que un enfoque al manejo de la biodiversidad es por medio del manejo de los ecosistemas (Johnson *et al.*, 1999; Sexton *et al.*, 1999; Szaro *et al.*, 1999). Por manejo de ecosistemas quiero decir el uso de análisis holístico para dirigir actividades que permitan obte-

ner productos y servicios de los sistemas terrestres y acuáticos a la vez que se conserva la biodiversidad de éstos.

La definición de manejo de ecosistemas reconoce que el aspecto holístico del manejo está en su planificación. Las acciones de manejo pueden ser bastante específicas y dirigidas a componentes muy particulares del ecosistema. La definición se refiere a sistemas terrestres y acuáticos y aunque no se mencione, la atmósfera esta implícita. Normalmente no se recomiendan acciones de manejo dirigidas específicamente a la atmósfera. Los impactos del ser humano sobre la atmósfera son generalmente indirectos debido a acciones sobre sistemas terrestres y/o acuáticos (Harrison y Matson, 2001). Finalmente, los ecosistemas se manejan para obtener productos o servicios, pero la acción humana se limita por la necesidad de conservar la biodiversidad. Mientras se conserve la biodiversidad, hay opciones para lograr el manejo sustentable.

Algunos de los paradigmas que rigen el manejo de ecosistemas son:

- Una visión dinámica del estado de los ecosistemas en contraste con ideas de sistemas en estado estable. En una era de cambio ambiental, los sistemas funcionarán en estados transitorios y pocos logran estados estables.
- Manejo desde un punto de vista de elasticidad en vez de estabilidad (Holling, 1973; 1986; 1992).
- Considerar las perturbaciones como parte integral de los ecosistemas (Dale *et al.*, 1998). Algunas perturbaciones son necesarias para mantener ciertos ecosistemas y no deben suprimirse o ser ignoradas.
- Considerar el legado de actividad humana (*sensu* García Montiel y Scatena, 1994), valorizar a todas las especies en la consideración de opciones de manejo y reconocer el valor de la necromasa para el funcionamiento del ecosistema. En el pasado se desconocía el efecto del legado humano sobre los ecosiste-

mas presentes, sólo se valorizaba un grupo reducido de especies y la atención principal era sobre la materia viva.

- Considerar las interacciones entre ecosistemas y el funcionamiento en las interfaces de los ecosistemas. Por ejemplo las interfaces terrestre/acuática/atmosférica (Silver *et al.*, 1996).
- Considerar todas las escalas de tiempo y espacio, y las velocidades de cambio, en vez de enfocar los aspectos a corto plazo y a escalas espaciales locales.
- Mantener una perspectiva global aún cuando se maneje a escala local.
- Rehabilitar sistemas degradados y diseñar nuevos ecosistemas cuando sea necesario.
- Manejar el contexto ecológico y sociológico en vez de ignorar los aspectos sociales que a veces son determinantes al éxito del manejo de los ecosistemas. Esto requiere considerar al ser humano como un ser económico que realiza acciones para obtener beneficios.

### El Ecosistema como Unidad de Manejo de la Biodiversidad

Evans (1956) definió el ecosistema como el flujo, transformación y acumulación de energía y materiales a través del medio de organismos vivos y sus actividades. La visión del ecosistema como una unidad funcional es útil para dirigir el manejo holístico de la biodiversidad y contrasta con ideas tradicionales de ecosistemas. Tradicionalmente el ecosistema se identifica con un lugar geográfico o comunidad específica de organismos. Con la visión funcional, las fronteras del ecosistema son arbitrarias (Figura 1).

En la Figura 1, el recuadro representa la estructura y composición de especies del ecosistema, que representan estados variables que se ajustan continuamente a las condiciones en las que funciona el ecosistema. Las condiciones que regulan el estado del ecosistema son las naturales y las antropogénicas. Las antropogénicas incluyen legados de eventos pasados al igual que intervenciones de manejo sustentable. En el Homogeoceno los ecosistemas funcionarán en un estado

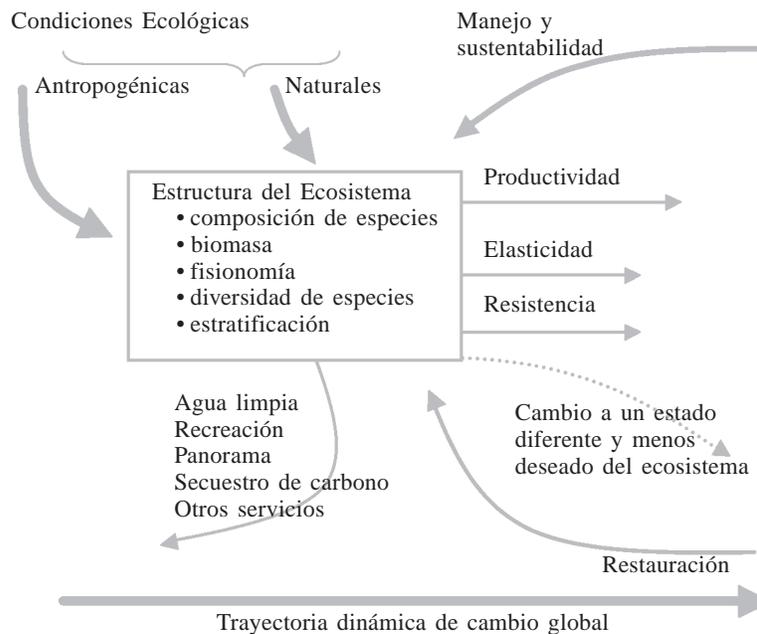


Figura 1. Diagrama que muestra los principales componentes de la estructura del ecosistema (dentro del recuadro) que son afectados por el manejo con el objetivo de lograr respuestas funcionales favorables para obtener los bienes y servicios deseados. Un manejo para la sustentabilidad exige conocer la estructura y dinámica ecosistémica para trabajar dentro de sus límites de tolerancia. Superar estos límites conlleva cambios en el estado del ecosistema. Se indican además funciones y propiedades del ecosistema (flechas delgadas) destacándose la acción de fuerzas externas (flechas gruesas) de diferente origen y escala incluyendo el cambio global. La flecha de puntos señala el cambio súbito de un estado a otro, lo cual requiere restauración para regresar al estado deseado.

de cambio global continuo, representado en la Figura 1 por la flecha horizontal en la parte inferior. Se espera que tanto la estructura como la composición de especies de los ecosistemas futuros estarán en un estado de cambio en respuesta a los cambios globales y al manejo a los cuales estarán sometidos.

Estados particulares de los ecosistemas se mantendrán mientras las funciones de productividad, elasticidad y resistencia al cambio (representadas a la derecha del recuadro) operen a su favor. Tanto la estructura como la composición de especies cambiarán cuando las condiciones externas se sobrepongan a estas funciones. El cambio puede ser gradual, tomando décadas de ajuste imperceptible a la vista, o puede ser abrupto (*flips* en inglés). Los cambios graduales predominan durante periodos sin perturbaciones significativas. El cambio abrupto ocurre como respuesta a perturbaciones de alta intensidad, amplia escala y baja frecuencia como por ejemplo grandes deslizos de tierra o fuegos intensos (Dale *et al.*, 1998). El ser humano es otro agente de cambio causante de cambios graduales y abruptos en los

ecosistemas. Por ejemplo, la deforestación lleva a cambios en el uso de la tierra y como consecuencia a cambios fundamentales en los tipos de ecosistemas que ocupan los sitios deforestados.

Los cambios graduales y abruptos en los ecosistemas son parte integral de la función de sistemas y redundan en la transformación del ecosistema de un estado o clase a otro. Schlesinger *et al.* (1990) describieron las condiciones locales y globales bajo las cuales pastizales productivos en el sur de Nuevo México cambiaban abruptamente a sistemas desertificados como resultado de la actividad humana. Los cambios de estado en los ecosistemas son de interés práctico cuando el cambio es a estados no aceptables a los seres humanos. Cuando esto ocurre, tenemos la opción de rehabilitar o restaurar las condiciones históricas y restablecer el sistema original. Tales cambios requieren conocimientos y esfuerzos significativos (Brown y

Lugo, 1994; Lugo *et al.*, 1993; Lugo y Brown, 1996). Es por eso que es necesaria la investigación para poder anticipar los umbrales hasta los cuales podemos modificar sistemas naturales sin que éstos cambien inesperadamente a estados no deseados.

Los servicios que prestan los ecosistemas (ilustrados como productos en la parte inferior del recuadro en la Figura 1) ocurren irrespectivamente de la composición de especies o la estructura de los ecosistemas. Por ejemplo, un pastizal es tan efectivo como un bosque en sus funciones hidrológicas (Ripley, 1992) y en el almacenaje de carbono en el suelo (Lugo y Brown, 1993). En el Homogeoceno las funciones de los ecosistemas serán menos afectadas que su estructura y composición de especies. De hecho, Behrens-meyer *et al.* (1992, p. 205) observaron que la función de los ecosistemas terrestres se estabilizó desde el Pérmico tardío mientras que la estructura y composición de especies han cambiado continuamente desde entonces.

De la discusión anterior surge la estrategia de manejar los ecosiste-

mas con el propósito de mantener sus funciones. Tal estrategia toma relevancia en el Homogeoceno debido a las incertidumbres que introduce el ser humano en relación a las condiciones bajo las cuales funcionarán los ecosistemas. Además, se reduce el énfasis en la composición de especies y se reconoce que tanto la composición de especies como la estructura de los ecosistemas oscilarán en ambientes de cambio continuo. No tiene sentido invertir esfuerzo y energía en mantener combinaciones de especies que no concuerden con las condiciones ambientales del momento. El énfasis del manejo sería en mantener los servicios y funciones de los ecosistemas permitiendo que los procesos de selección natural determinen la composición de especies óptimas para cada situación. Las preguntas que surgen entonces son: ¿Acaso no sería perjudicial para la biodiversidad tomar tal actitud hacia la composición de especies? ¿Qué nos asegura que tal estrategia tenga probabilidades de éxito?

La estrategia propuesta no pretende sustituir, ni propone el abandono de la preservación de áreas naturales ni la conservación de especies endémicas, raras o en peligro de extinción. Tales esfuerzos deben continuar de forma apremiante. Sin embargo, ese tipo de conservación cubre no más del 20% de la superficie del planeta donde existen áreas naturales críticas. El resto del mundo no atrae generalmente la atención de los conservacionistas a pesar de su importancia para la conservación de la biodiversidad (Pimentel *et al.*, 1992). La influencia humana es mayor en las áreas ya convertidas a otros usos y es en estas áreas donde el efecto del Homogeoceno se hace sentir con más fuerza. Como sugerimos que sean las fuerzas naturales las que regulen el establecimiento de la biodiversidad en el Homogeoceno, ésta será protegida por las tendencias a la diversificación de los sistemas ecológicos. El éxito de esta estrategia depende de dos procesos naturales que discutimos a continuación.

### Semillazón Múltiple y Autodiseño

“...fostering waves of immigration into [ecosystems]...is...termed multiple seeding.” (Beyers y Odum, 1993)

“*Out of chaos emerges a new order, and plant succession..., though novel, is beautifully orderly and comprehensible.*” (Egler, 1942)

Tanto los ecosistemas naturales como los artificiales están constantemente expuestos a la presión de invasión de especies por medio de millares

TABLA IV  
BENEFICIOS DE LAS ESPECIES FORASTERAS\*

Beneficio	Explicación Breve
Enriquecen el acervo genético del hábitat.	El genoma de estas especies procede del exterior y es diferente al de las especies nativas.
Son material para la evolución de nuevas especies.	Al reproducirse en los nuevos ambientes, el genoma de estas especies puede evolucionar.
Aumentan la riqueza de especies al nivel local.	Generalmente el establecimiento de estas especies no conlleva extinciones, y como resultado, se enriquece el número de especies de flora y fauna.
Colonizan nuevos ambientes.	Las especies forasteras predominan en ambientes artificiales o degradados a causa
de la actividad humana.	
Mejoran las condiciones de los sitios colonizados.	La cobertura vegetal en sitios degradados mejora la fertilidad y estructura del suelo y modifica el microclima.
Favorecen el restablecimiento de especies nativas.	Las especies nativas pueden reinvidar lugares dominados por especies forasteras debido a las mejoras en los sitios y la incapacidad de muchas especies forasteras de crecer en su propia sombra.
Forman nuevos ecosistemas.	El resultado de los procesos anteriores es el desarrollo de nuevas combinaciones de especies y por consiguiente de nuevos ecosistemas.
Son una respuesta a los cambios globales.	La formación de nuevos ecosistemas es una respuesta positiva a los cambios globales. Representa la transición de la biota a las condiciones del futuro.

\* No se asume que todas las especies forasteras tienen todos los beneficios

de propágulos que se dispersan por el aire, el agua o por la actividad de los organismos. Esa presión constante de propágulos le llamaremos semillazón múltiple (*multiple seeding* en inglés, *sensu* Odum, 1988; 1989; 1995). Normalmente es difícil invadir comunidades maduras donde todos los espacios ecológicos están ocupados por organismos y hay pocos recursos disponibles para permitir la invasión de más organismos. Sin embargo, luego de eventos de perturbación las condiciones de vida cambian y surgen oportunidades de invasión (Hengeveld, 1989; Williamson, 1996). Generalmente ocurre un periodo de reajuste cuando las especies invasoras y las que estaban presentes en el lugar al momento de la perturbación, compiten por espacio y recursos. Al cabo de cierto tiempo, surgen las combinaciones de especies que compondrán el sistema en su madurez. El proceso de seleccionar las especies y determinar cuáles sobreviven y cuáles no se establecen se conoce como autodiseño (*self design* en inglés, *sensu* Odum, 1988; 1989; 1995). Este proceso natural depende de las fuerzas naturales actuando sobre las especies competidoras. Los procesos de cambio que sufre el sistema se conoce como sucesión y a través de ese proceso el siste-

ma se autodiseña en términos de su composición de especies.

Tanto la semillazón múltiple y el autodiseño ocurren continuamente bajo condiciones naturales. En el Homogeoceno estos dos procesos tomarán más auge e importancia debido a las perturbaciones antropogénicas. John Ewel (Instituto de Dasonomía de las Islas del Pacífico, USDA Forest Service, comunicación personal), trató de simular la semillazón múltiple en parcelas experimentales, pero se le hizo imposible mantener la intensidad del proceso natural. De igual manera, es costoso manejar el proceso de autodiseño de los ecosistemas. El ejemplo más claro es el costo de la agricultura intensiva donde el ser humano trata de mantener mono- y poli-cultivos. Al tratar de extrapolar estos problemas a toda la biodiversidad, es obvio que la mejor estrategia de manejo es mantener estos procesos bajo control natural y concentrar los esfuerzos humanos en actividades menos costosas pero necesarias para asegurar los objetivos del manejo. Ejemplos de acciones menos costosas pero efectivas serían intervenciones que favoreciesen especies claves con funciones críticas para el funcionamiento del ecosistema o la protección de los ecosistemas durante etapas vulnerables al cambio súbito.

De igual importancia es evitar la discriminación de especies basada en su punto de origen, o sea si son forasteras. En un mundo de cambio, las especies forasteras tienen valor pues representan nueva información genética y nueva capacidad biótica para sobreponerse a las nuevas condiciones ambientales generadas por el ser humano. Mientras más dramático el cambio introducido por las perturbaciones, más probable es el éxito de las especies forasteras durante la etapa de autodiseño y sucesión.

### Ventajas de las Especies Forasteras

*"I see no reason why the reconstruction of communities to make them rich and interesting and stable should not include a careful selection of exotic forms, especially as many of these are in any case going to arrive in due course and occupy some niche."*

(Elton, 1958)

Algunos autores sugieren la extirpación de las especies forasteras (Temple, 1990) sin reconocer que bajo ciertas condiciones ambientales esas especies tienen ventajas ecológicas (Tabla IV). La expansión de especies forasteras se debe a que encuentran condiciones de crecimiento favorables. Mientras más cambios introduzca el ser humano al paisaje, más oportunidades de éxito tienen estas especies. Esto se debe al debilitamiento de las comunidades nativas y la creación de condiciones nuevas para las cuales las combinaciones de especies nativas no pueden dominar. Sin embargo, especies forasteras tienen más probabilidades de éxito pues dentro del acervo total de especies, se puede dar el caso de alguna que pueda sobrevivir y multiplicarse en los nuevos ambientes creados. No todas las especies forasteras tienen éxito de primera instancia. De hecho, es necesaria la semillazón múltiple para que surja la especie apropiada para el ambiente local. Williamson (1996) ilustra este fenómeno con la regla de "10". Los propágulos de 10 de cada 100 especies que llegan a un lugar, logran establecerse. De esas 10 especies, 1 logra crecer. Pero una vez que llega la especie propicia para las condiciones del lugar, su crecimiento es rápido y es difícil eliminarla. Las especies invasoras pueden perder importancia cuando las condiciones ambientales cambian y la sucesión prosigue a etapas avanzadas. Entonces, surge otra ventaja de las especies forasteras: su función en la rehabilitación del suelo y la facilitación de la invasión de especies nativas (Lugo, 1997).

Es imperativo mantener una actitud positiva o por lo menos no

descartar a priori la función de las especies forasteras (Lugo, 1994). Las especies forasteras jugarán un papel crítico en la composición de los ecosistemas del Holoceno. Son un componente importante de las especies que contribuirán a las respuestas de los ecosistemas a los cambios globales.

### Conclusiones

La biodiversidad del mundo no está bajo el control humano. La biodiversidad global está controlada por fuerzas naturales. Periódicamente -cada 26 millones de años (Raup y Sepkoski, 1984; pero ver Donovan, 1989 para un punto de vista opuesto)-ocurren grandes perturbaciones que causan extinciones masivas y determinan la dirección de la evolución y el comportamiento de los sistemas naturales durante largos periodos (milenios) de recuperación. Es muy difícil alterar la dirección de estos procesos naturales. Aunque los seres humanos causen grandes impactos en el planeta e incluso lleguen a dominarlo en el Holoceno, aun no determinamos la composición de especies del futuro. Nuestra mejor alternativa es operar dentro de las restricciones de las leyes naturales, aprendiendo a vivir con los cambios en la composición de especies, pero asegurándonos que los ecosistemas resultantes mantengan los servicios y funciones que benefician al ser humano. Para lograr este objetivo necesitamos conocimiento sobre cómo operan las fuerzas naturales y su interacción con los ecosistemas. Ese conocimiento se obtiene desarrollando y sustentando instituciones de investigación en los trópicos donde se lleven a cabo investigaciones ecológicas a largo plazo. Debemos asegurar que los resultados de tales investigaciones se tomen en consideración en los procesos de desarrollo y ordenación de las economías de los países tropicales.

Entre las generalizaciones sobre el cambio en biodiversidad que estamos experimentando se encuentran las siguientes: pérdida de especies, invasión de especies forasteras, homogeneización de la flora y fauna, simplificación de las comunidades, reducciones en la biomasa de ecosistemas, pérdida de organismos de gran tamaño, reducción en el área de bosques y comunidades naturales y aumento en las áreas degradadas. Sin embargo, algunos de estos problemas son respuestas naturales a acciones humanas que eventualmente pueden ser parte de la solución al problema general de crear un balance entre el ser humano y los sistemas naturales.

Por ejemplo, el área de bosques debe reducirse para acomodar

más gente, pero no sabemos cuál es el área óptima que debe permanecer para asegurarnos de que los servicios y productos de los bosques no se pierdan. La biomasa de sistemas naturales debe disminuir y los organismos grandes reducirse en importancia cuando se aumenta la frecuencia de perturbaciones. La reducción en biomasa y los organismos de menor tamaño tienen más capacidad de crecimiento rápido y más elasticidad. La invasión de especies forasteras en su mayoría no causa problemas y, de hecho, enriquece la flora y fauna local. Es una respuesta natural a la presencia del ser humano. Nuevas combinaciones de especies enriquecen y diversifican comunidades, contrario a la idea de la homogeneización. La selección natural no deja de funcionar cuando entran especies forasteras a un ecosistema. La homogeneización de flora y fauna ocurre usualmente en zonas altamente intervenidas por el ser humano cuando éste crea ambientes extensos y homogéneos (Cousens y Mortimer, 1995), pero es debatible que a nivel global la homogeneización sea un problema real.

La ecología ya está dando frutos en actividades de restauración de tierras y sistemas degradados y en la conservación de especies en peligro de extinción. El próximo paso es el diseño de nuevos ecosistemas para llevar a cabo procesos específicos y necesarios al ser humano. Por ejemplo, diseño de ecosistemas para absorber aguas usadas, desperdicios sólidos, inundaciones, ruidos, ecosistemas de interfaz entre la ciudad y el campo, bosques urbanos, sistemas de alta producción y otros. Para los que manejarán la biosfera en el futuro, cada especie será análoga a los genes en organismos. De igual manera a como se manipulan los genes para diseñar organismos con propósitos específicos, se mezclarán las especies apropiada (nativas o forasteras) para el diseño de ecosistemas específicos en beneficio de la humanidad. Todas las especies tendrán valor porque recombinándolas en ecosistemas nuevos lograremos el objetivo de mantener la biodiversidad del planeta intacta a la vez que sustentamos la actividad humana. Obtendremos la flexibilidad que necesitaremos para sobrevivir en ambientes de cambio sólo si tenemos flexibilidad intelectual para lograr ese propósito.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo en colaboración con la Universidad de Puerto Rico. Frank Wadsworth, Ernesto Medina, Jorge Frangi, Gilberto Rodríguez y un árbitro anónimo revisaron y mejoraron el manuscrito original.

## REFERENCIAS

- Acevedo Rodríguez P (1996) Flora of St. John U.S. Virgin Islands. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 78: 1-581.
- Behrensmeyer AK, Damuth JD, DiMichele WA, Potts R, Sues H-D, Wing SL, editores (1992) *Terrestrial ecosystems through time*. The University of Chicago Press. Chicago. 568 pp.
- Beyers RJ, Odum HT (1993) *Ecological microcosms*. Springer Verlag. New York. 557 pp.
- Bormann BT, Brookes MH, Ford ED, Kiester AR, Oliver CD, Weigand JF (1994) *Volumen V: A Framework for Sustainable-Ecosystem Management*. USDA Forest Service General Technical Report PNW-GTR-331. US Forest Service Pacific Northwest Research Station, Portland. 61 pp.
- Brash AR (1984) *Avifauna reflections of historical landscape ecology in Puerto Rico*. Tropical Resources Institute. Yale University, New Haven. 24 pp.
- Bright C (2000) Environmental surprises: planning for the unexpected. *The Futurist* 34(4): 41-47.
- Brown S, Lugo AE (1994) Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restoration Ecology* 2: 97-111.
- Cousens R, Mortimer M (1995) *Dynamics of weed populations*. Cambridge University Press. Cambridge. 332 pp.
- Dale VH, Lugo AE, MacMahon JA, Pickett STA (1998) Ecosystem management in the context of large, infrequent disturbances. *Ecosystems* 1: 546-557.
- Denslow JS (1987) Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Ann. Rev. Ecology Systematics* 18: 431-451.
- Donovan SK, editor (1989) *Mass extinctions: processes and evidence*. Columbia University Press. New York. 266 pp.
- Egler WA (1942) Indigene versus alien in the development of arid Hawaiian vegetation. *Ecology* 23: 14-23.
- Elton CS (1958) *The ecology of invasions by animals and plants*. Chapman & Hall. London. 181 pp.
- Evans FC (1956) Ecosystem as the basic unit in ecology. *Science* 123: 1127-1128.
- Ewel JJ, O'Dowd DJ, Bergelson J, Daehler CC, D'Antonio CM, Gómez LD, Gordon DR, Hobbs RJ, Holt A, Hooper KR, Hughes CE, LaHart M, Leakey RRB, Lee WG, Loope LL, Lorence DH, Louda SM, Lugo AE, McEvoy PB, Richardson DM, Vitousek PM (1999) Deliberate introductions of species: Research needs. *BioScience* 49(8): 619-630.
- Francis JK, Liogier HA (1991) Naturalized exotic tree species in Puerto Rico. *USDA Forest Service. General Technical Report SO-82*. Southern Forest Experiment Station, New Orleans, LA. 12 pp.
- Farnworth EA, Golley FB, editores (1974) *Fragile eco-systems*. Springer Verlag. New York. 258 pp.
- García Montiel D, Scatena FN (1994) The effect of human activity on the structure and composition of a tropical forest in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 63: 57-78.
- Goodland RJA, Irwin HS (1975) *Amazon jungle: green hell to red desert?* Elsevier. Amsterdam. 155 pp.
- Harrison J, Matson P (2001) The atmospheric commons. En Burger J, Ostrom E, Norgaard RB, Policansky D, Goldstein BD (Eds) *Protecting the commons*. Island Press. Washington, DC. pp. 219-239
- Hengeveld R (1989) *Dynamics of biological invasions*. Chapman & Hall. London. 160 pp.
- Holling CS (1973) Resiliency and stability of ecological systems. *Ann. Rev. Ecology and Systematics* 4: 1-23.
- Holling CS (1986) Resiliency of ecosystems; local surprise and global change. En Clark WC, Munn RE (Eds) *Sustainable development of the biosphere*. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 292-317
- Holling CS (1992) Cross-scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems. *Ecological Monographs* 62: 447-502.
- Johnson NC, Malk AJ, Szaro RC, Sexton WT, editores (1999) *Ecological stewardship: a common reference for ecosystem management*. Volumen I. Elsevier. Oxford. 285 pp.
- Johnson N, Revenga C, Echeverria J (2001) Managing water for people and nature. *Science* 292: 1071-1072.
- Lamb FB (1966) *Mahogany of tropical America*. The University of Michigan Press. Ann Arbor. 220 pp.
- Lugo AE (1988) Estimating reductions in the diversity of tropical forest species. En Wilson EO, Peter FM (Eds) *Biodiversity*. National Academy Press. Washington DC. pp. 58-70
- Lugo AE (1994) Maintaining an open mind on exotic species. En Meffe GK, Carroll RC (Eds) *Principles of conservation biology*. Sinauer. Massachusetts. pp. 218-220
- Lugo AE (1995) Management of tropical biodiversity. *Ecological Applications* 5: 956-961.
- Lugo AE (1996) Caribbean island landscapes: indicators of the effects of economic growth on the region. *Environment and Development Economics* 1: 128-136.
- Lugo AE (1997) The apparent paradox of re-establishing species richness on degraded lands with tree monocultures. *Forest Ecology and Management* 99(100): 9-19.
- Lugo AE (1999) Will concern for biodiversity spell doom to tropical forest management? *The Science of the Total Environment* 240(1-3):123-131.
- Lugo AE En prensa. Los bosques de Puerto Rico. Historia natural de Puerto Rico. R. Joglar, editor. Editorial Universidad. Río Piedras, PR.
- Lugo AE, Brown S (1993) Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. *Plant and Soil* 149:27-41.
- Lugo AE, Brown S (1996) Management of land and species richness in the tropics. En Szaro RC, Johnston DW (Eds) *Biodiversity in managed landscapes. Theory and practice*. Oxford University Press. New York. pp. 280-295
- Lugo AE, Parrotta JA, Brown S (1993) Loss of species caused by tropical deforestation and their recovery through management. *Ambio* 22: 106-109.
- Lugo AE, Rogers CS, Nixon SW (2000) Hurricanes, coral reefs and rainforests: resistance, ruin, and recovery in the Caribbean. *Ambio* 29:106-114.
- McKinney ML, Lockwood JL (1999) Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *TREE* 14: 450-452.
- Meyer WB, Turner II BL (1994) *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge University Press. Cambridge. 537 pp.
- Odum HT (1988) Self organization, transformity, and information. *Science* 242: 1132-1139.
- Odum HT (1989) Ecological engineering and self-organization. En Mitsch WJ, Jørgensen SE (Eds) *Ecological Engineering*. John Wiley & Sons. New York. pp. 79-101
- Odum HT (1995) Self organization and maximum power. En Hall CAS (Ed) *Maximum power*. University Press of Colorado. Niwot, CO. pp. 311-364
- Pimentel D, Stachow U, Takacs DA, Brubaker HW, Dumas AR, Meaney JJ, O'Neil JAS, Onsi DE, Corzilius DB (1992) Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience* 42: 354-362.
- Postel SL, Daily GC, Ehrlich PR (1996) Human appropriation of renewable fresh water. *Science* 271: 785-788.
- Putz FE (1997) Florida's forests in the year 2020 and deeper into the Holocene. *J. Public Interest Environmental Conf.* pp. 91-97.
- Raup DM, Sepkoski Jr JJ (1984) Periodicity of extinctions in the geologic past. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 81: 801-805.
- Ripley EA (1992) Water flow. En Coupland RT (Ed) *Natural grasslands. Introduction and western hemisphere*. Elsevier. Amsterdam. pp. 55-73
- Schlesinger WH, Reynolds JF, Cunningham GL, Huenneke LF, Jarrell WM, Virginia RA, Whitford WG (1990) Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247: 1043-247.
- Sexton WT, Malk AJ, Szaro RC, Johnson NC, editores (1999) *Ecological stewardship: a common reference for ecosystem management*. Vol. III. Elsevier. Oxford. 761 pp.
- Silver WL, Brown S, Lugo AE (1996) Biodiversity and biogeochemical cycles. En Orians G, Dirzo R, Cushman JH (Eds) *Biodiversity and ecosystem process in tropical forests*. Springer-Verlag. Heidelberg. pp. 49-67
- Szaro RC, Johnson NC, Sexton WT, Malk AJ, editores (1999) *Ecological stewardship: a common reference for ecosystem management*. Vol. II. Elsevier. Oxford. 741 pp.
- Temple SA (1990) The nasty necessity: eradicating exotics. *Conservation Biol.* 4: 113-115.
- Torres JA, Snelling RR (1997) Biogeography of Puerto Rican ants: a non-equilibrium case? *Biodiversity and Conservation* 6: 1103-1121.
- Vitousek PM, Ehrlich PR, Ehrlich AH Matson PA (1986) Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience* 36: 368-373.
- Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM (1997a) Human domination of the earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Vitousek PM, Aber JD, Howarth RW, Likens GE, Matson PA, Schindler DW, Schlesinger WH, Tilman DG (1997b) Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* 7: 737-750.
- Wigley TML, Schimel DS, editores (2000) *The carbon cycle*. Cambridge University Press. Cambridge. 292 pp.
- Williamson MH (1996) *Biological invasions*. Chapman & Hall. London. 244 pp.