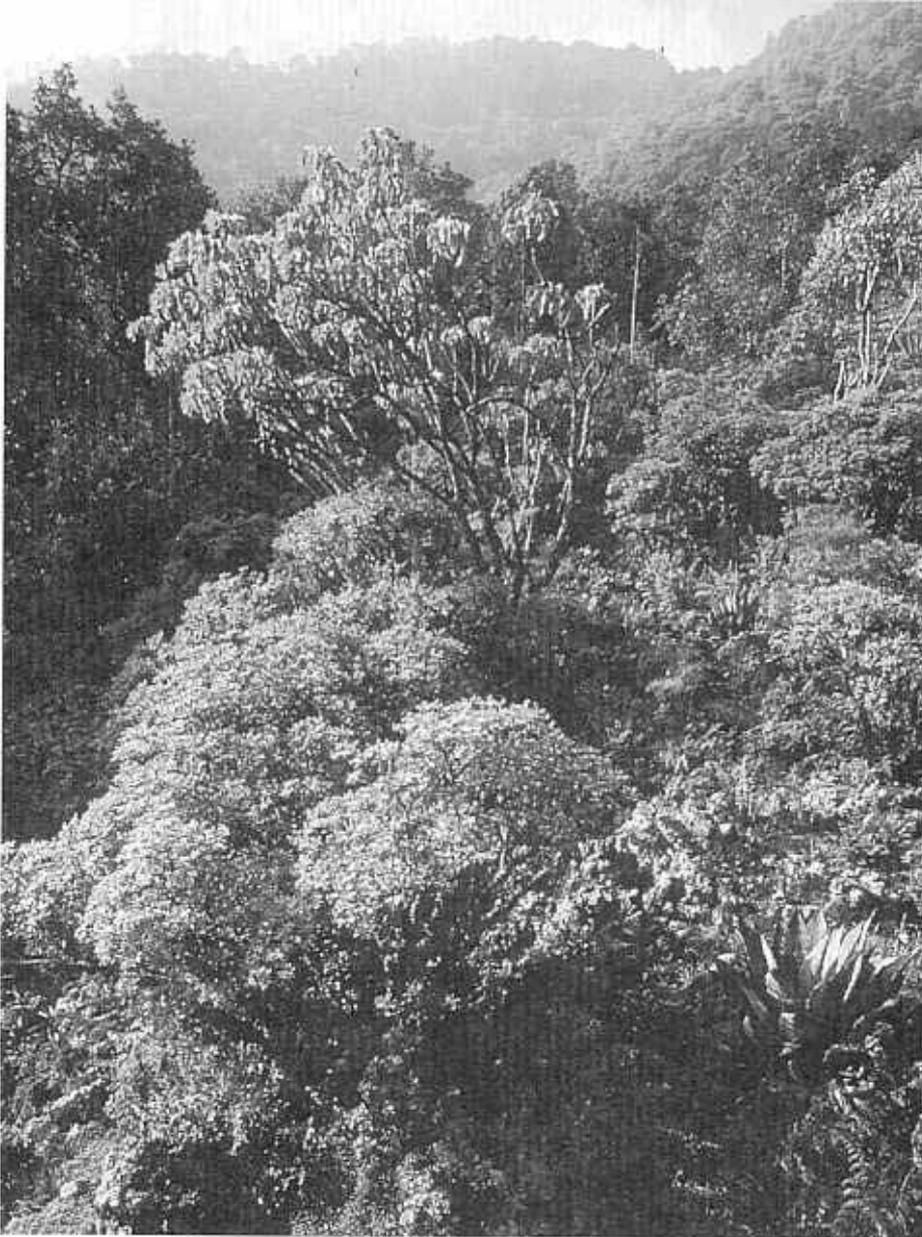


La restauración ecológica

EDUARDO MARTÍNEZ ROMERO



Fabio Ecardi

La problemática ambiental que vivimos actualmente (como la contaminación del aire y del agua) y la degradación de las comunidades naturales (como la pér-

didada de las áreas selváticas) es resultado de la explotación y el manejo inadecuado de los recursos naturales, es decir, de un desconocimiento prácticamente to-

tal de los procesos ecológicos que se dan en los ecosistemas. Hoy día existen lagos, ríos, selvas y bosques que se encuentran totalmente alterados en su composición, estructura y funcionamiento. Es evidente que ante tal crisis mundial surge la necesidad de tomar medidas efectivas que eviten la desaparición de los ecosistemas, que promuevan su recuperación y conservación parcial o total y su posible uso sostenido. Los criterios que se utilicen para tomar una u otra medida deben fundamentarse, en primera instancia, en el estudio científico de las interacciones que determinan la distribución y la abundancia de los organismos.

Soberón define la "problemática ecológica" como aquella situación en la que se pretende manejar (amplificar, suprimir y conservar) un proceso poblacional, sinecológico o ecosistémico en situaciones "naturales", es decir, aquellas en las que participan muchas variables no controladas. Ejemplos de este tipo de situaciones son el aprovechamiento, la conservación y el manejo de especies silvestres, de suelos y de aguas, la reintroducción de especies extintas localmente y el restablecimiento de comunidades destruidas o deterioradas parcial o totalmente. El último ejemplo es conocido como restauración ecológica y es una oportunidad para poner a prueba el marco teórico que subyace a la ecología, pues se trata del manejo de los ecosistemas con base en cierta capacidad predictiva. En la restauración se intenta dirigir el sistema por una ruta de estadios sucesivos que recupere la composición de especies y las interrelaciones que tenía la comunidad original en un tiempo relativamente corto.

El marco teórico: la sucesión ecológica

La sucesión ecológica es el marco conceptual en el cual se basa la restauración ecológica. Los ecosistemas o comunidades que han sido degradados llevan a

cabo por sí mismos eventos de recuperación que son parte de un proceso de sucesión. El conocimiento de los procesos de sucesión de los diversos ecosistemas o comunidades permite plantear diferentes enfoques para realizar una restauración ecológica con éxito. A continuación se presentan los principales modelos e hipótesis acerca de la sucesión ecológica, que es un intento por dar una visión general de esta vertiente de la ecología.

Los cambios en la composición y estructura de la vegetación a través del tiempo y del espacio, *i.e.* su dinámica, han sido estudiados por medio de procesos que se conocen como "sucesiones ecológicas".

La sucesión fue descrita a principios de este siglo por Clements, quien la definió como un proceso sinecológico de eventos graduales y recurrentes que tienden a llegar al equilibrio en las comunidades. También conocida como la Hipótesis de monoclímax, su modelo plantea que la sucesión empieza con la llegada de especies pioneras que modifican condiciones tanto abióticas como bióticas que facilitan el establecimiento posterior de nuevas especies, y así sucesivamente, hasta alcanzar el clímax de la comunidad, determinado por las condiciones climáticas predominantes. Una década después, Gleason propuso la Teoría Individualista, de acuerdo con la cual la sustitución de especies en el proceso de sucesión no tiene una secuencia determinada, ya que cada especie responde de manera específica a las interacciones bióticas y abióticas del hábitat. Por lo tanto, la sucesión tiene un carácter más individualizado, menos predecible y por ende, las comunidades no siempre convergen en el clímax climático.

Watt propuso en 1947 el concepto de "sucesión cíclica", el cual postula que las comunidades se encuentran en equilibrio y que los cambios que éstas experimentan se deben no a procesos de sucesión sino a eventos cíclicos a pequeña escala. Es decir, dependiendo de la esca-

la, encontramos que el cambio en la composición de especies de una comunidad puede ser un evento sucesorio o parte de la dinámica interna exclusivamente recurrente. Watt dividió la sucesión cíclica en cuatro fases: pionera, constructiva, madura y degenerativa. Después de la última empieza nuevamente una fase pionera. El concepto de sucesión cíclica lo han retomado ecólogos forestales, tanto de zonas templadas como tropicales, y en éste una comunidad vegetal presenta un mosaico dinámico de diferentes fases microsucesorias. En 1954 Egler presentó dos modelos de sucesión. El primero llamado florística de relevo, que consiste en el remplazo de una comunidad vegetal por otra (Hipótesis de monoclímax de Clements). El segundo, conocido como el Modelo de la composición florística inicial, establece que todas las diferentes especies características de una comunidad se encuentran desde el inicio del proceso de sucesión en forma de semillas o propágulos, cada una con tasas diferenciales de establecimiento, crecimiento, reproducción y sobrevivencia a través del tiempo. Es decir, la composición y estructura de la comunidad varía gradualmente sin un remplazo total de una comunidad por otra.

Se han planteado enfoques diferentes a los anteriores sobre el proceso de sucesión. Por ejemplo, el estudio de las secuencias temporales en lugares adyacentes es una metodología que ha permitido el análisis de los procesos de sucesión para inferir los cambios temporales que se dan en las comunidades. El avance de dichos procesos a través del tiempo trae como consecuencia una serie de cambios en las características físicas, químicas y biológicas mediante gradientes espaciales, ante los que los organismos responden tanto en tiempo ecológico como evolutivo.

En 1975 Whittaker planteó el concepto de patrón climático, que está derivado de la hipótesis clementsiana de monoclímax. En un área con un régimen

climático dominante se identifican diferentes condiciones climáticas a menor escala: en una zona, una localidad o un micrositio. Estas condiciones climáticas locales se originan de la combinación de un conjunto de factores como son el clima, el suelo, la topografía y los eventos de perturbación. El resultado de la interacción de estos factores es el establecimiento de un conjunto de comunidades vegetales que varían en un gradiente ambiental o un patrón climático.

Un año después, Horn desarrolló el modelo conocido como "reemplazamiento árbol por árbol", que permite predecir los cambios en la composición y estructura de una comunidad arbórea con base en dos aspectos básicos, 1) la probabilidad que tiene un individuo de ser reemplazado por otro de la misma o de diferente especie en un intervalo de tiempo determinado, y 2) el supuesto de una composición inicial de especies. Uno de los resultados más interesantes de este modelo es, independientemente de la composición inicial de especies, que las comunidades alcanzan una situación de estabilidad.

Posteriormente, Connell y Slatyer plantearon tres posibles mecanismos para el proceso sucesorio: facilitación, tolerancia e inhibición. En el mecanismo de facilitación las especies pioneras llegan al sitio y modifican las condiciones ambientales del medio, haciéndolo adecuado para la entrada de otras especies que resultan competitivamente superiores. El mecanismo de tolerancia postula que las especies tardías logran establecerse junto a las pioneras debido a que requieren pocos recursos para sobrevivir, por lo tanto especies pioneras y tardías coexisten durante un cierto tiempo, sin afectarse unas a otras. Finalmente, la inhibición es el mecanismo mediante el cual las especies tardías logran establecerse pero no pueden llegar al estado adulto debido a la existencia de las tempranas. Pickett, Collins y Armesito criticaron el modelo anterior, argu-



Eduardo Martínez, zona alterada del Ajuac

mentando que la ausencia de una teoría general sobre la sucesión ecológica es un obstáculo para lograr un mayor conocimiento del proceso y que fomenta el diseño de modelos inadecuados con una trayectoria única o con un mecanismo dominante, por lo que no deben ser considerados como hipótesis a probar.

El cambio de las condiciones abióticas y bióticas durante un proceso de sucesión provoca tanto modificaciones en la dinámica y estructura de las poblaciones como en la composición de las comunidades. La reproducción, el establecimiento, el crecimiento y la mortalidad son procesos que definen la dinámica y la estructura poblacional resultante y se encuentran directamente relacionados con los cambios en la estructura y composición de la comunidad. Algunos autores proponen que la sucesión es el resultado de un proceso demográfico donde las poblaciones forman parte de las comunidades en diferentes etapas serales, es decir, el cambio en una comunidad es el resultado de los cambios que se originan en la poblaciones de las diferentes especies que la componen.

Otro de los aspectos fundamentales en la teoría ecológica de la sucesión es el estudio de los disturbios y la dinámica

de parches en las comunidades naturales. Los sistemas naturales son dinámicos, tanto en el tiempo como en el espacio, es decir, la frecuencia y la escala de tales eventos pueden influir de manera decisiva en el proceso sucesional. El estudio de las perturbaciones y su dinámica nos permitirá entender su efecto en las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas mediante el proceso de sucesión. Por lo tanto, dado que los disturbios desempeñan un papel importante al frenar o acelerar la sucesión, probablemente éstos deban usarse como posibles herramientas para obtener estructuras y composiciones deseadas en la restauración.

Un método de investigación básica

La restauración ecológica es importante no solamente por ser una técnica de recuperación de comunidades naturales sino también como un método de investigación básica en ecología. El fundamento de la idea anterior es que para poder reparar algún objeto es necesario conocer y estudiar cada una de sus partes así como su mecanismo. Es decir, la restauración ecológica es una técnica de recuperación de comunidades que per-

mite generar nuevos conocimientos y plantear hipótesis.

De acuerdo con Ewel, en una técnica de restauración ecológica se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos fundamentales, trátase de una población, una comunidad o un ecosistema:

Autosustentabilidad. Se refiere a que el ecosistema a restaurar sea capaz, en un momento dado, de autopropagarse, inclusive sin ayuda del hombre. El conocimiento de los procesos de germinación, establecimiento, y disturbio de las plantas en fases tempranas de la restauración son fundamentales para lograr este propósito, ya que se podrán entender los requerimientos de regeneración de las especies.

Invasión. Implica reconocer las especies que invadan comunidades perturbadas, ya que éstas podrían ser muy competitivas y desplazar a especies clave dentro del proceso de sucesión natural. En general, las comunidades naturales son menos susceptibles a la invasión de especies no originales.

Productividad. Depende del uso eficaz del recurso por la comunidad. Una comunidad restaurada debe ser tan productiva como la original.

Retención de nutrientes. Las comunidades son sistemas abiertos en el flujo de nutrientes; una comunidad restaurada debe perder la menor cantidad posible de nutrientes.

Interacciones bióticas. El ensamblaje de los organismos en una comunidad es un aspecto fundamental al que debe enfocarse una restauración ecológica. El conocimiento de las especies clave es fundamental para alcanzar este objetivo.

Harper y Peters plantean que la ecología debe pasar de una etapa meramente descriptiva a una explicativa y finalmente a una etapa de predicción o manejo. En el intento de pasar de un plano meramente descriptivo a uno explicativo, destaca la importancia de la manipulación y del enfoque experimental en la investigación ecológica que es la me-

Restauración ecológica en el Ajusco Medio

Actualmente el Laboratorio Especializado de Ecología de la Facultad de Ciencias y el Laboratorio de Ecología de Poblaciones del Centro de Ecología de la UNAM trabajan en el proyecto "Restauración ecológica del Ajusco Medio" en el Parque Ecológico de la Ciudad de México en Lomas del Seminario, al sur de la Ciudad de México.

El parque es una zona de recarga de los acuíferos y un área donde existe una gran diversidad biológica. Debido a su origen volcánico, la región cuenta con un sustrato sumamente permeable, y presenta una de las pluviosidades más altas del Valle de México, por lo que el parque forma parte del área principal de recarga del sistema de acuíferos del sur de la cuenca de México. Lo heterogéneo del sustrato y la condiciones climáticas permiten el crecimiento de comunidades como bosques de encinos y matorrales xerófilos.

Debido a su gran importancia, esta zona se expropió y se creó allí El Parque Ecológico de la Ciudad de México (Diario Oficial, 1989), con un área de 728 hectáreas en la parte media de la serranía del Ajusco. Dentro de la zona expropiada existe una zona de 200 hectáreas donde se habían iniciado asentamientos urbanos irregulares, que afectaron en diferentes grados las comunidades naturales. Actualmente el área se encuentra en un estado de sucesión temprano. El proyecto de restauración ecológica en su primera fase tuvo como objetivo estudiar la ecofisiología, la ecología de poblaciones y los patrones de sucesión de ciertas especies que se sugieren como claves en este proceso: *Salvia* spp. *Sedum oxypetalum* y *Buddleia cordata*. Una vez que se tenga claro qué papel desempeñan estas especies en el proceso de sucesión, el siguiente paso será el manejo experimental de los factores abióticos y bióticos, con el "objetivo de restaurar la composición y la estructura de las interacciones ecológicas originales". Finalmente, esta experiencia representa un vínculo entre la investigación básica y la aplicada que tendrá que ser evaluada constantemente, para así aprender de los errores y consolidar los aciertos.

laissez faire, donde se tiene una manipulación limitada y se permite un desarrollo natural del ecosistema.

Los resultados obtenidos reflejan aciertos y errores en diferentes procesos. Por ejemplo, la formación de otra comu-

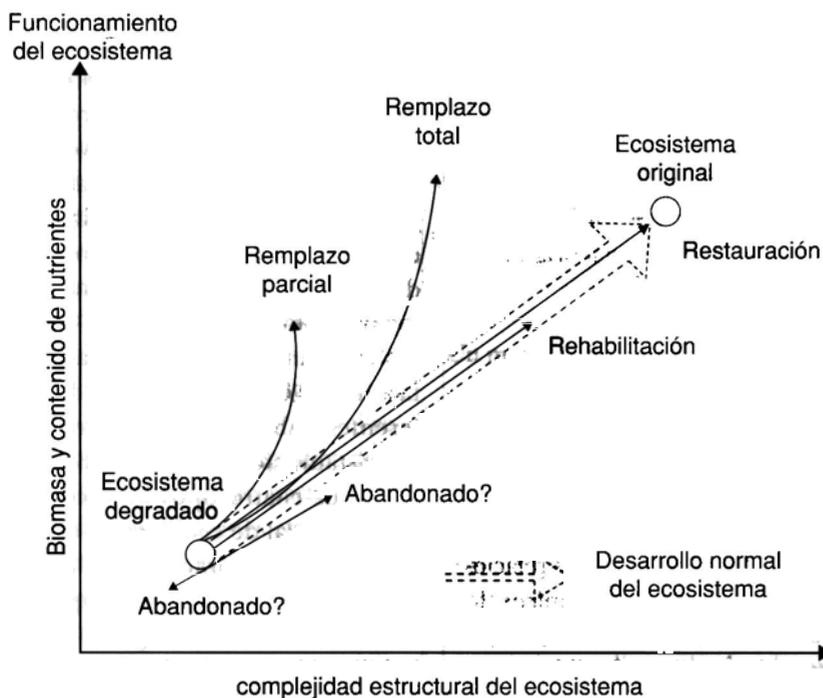


Figura 1. Alternativas de la restauración ecológica comparadas con la regeneración de los ecosistemas (modificado de Bradshaw, 1984).

nidad diferente a la original se puede considerar como una desviación de los objetivos de una restauración ecológica; por otro lado un acierto sería acelerar los procesos pedogenéticos, como un factor clave para el proceso de sucesión. Algunos estudios han tomado en cuenta los análisis costo-beneficio en la recuperación de comunidades naturales con el objetivo de realizar una evaluación económica de los procesos de restauración. La restauración ecológica también se relaciona con la ecología del paisaje, al tratar de reintegrar los fragmentos de vegetación original a partir de corredores que se restauran ecológicamente. Holland, Risser y Naiman estudiaron la importancia de los ecotonos en el manejo y restauración de los ecosistemas, y destacaron su importancia por su gran biodiversidad.

Es fácil percatarse de la diversidad de estudios y objetivos que se pueden llevar a cabo con la técnica de restauración ecológica. Sin embargo, lo más importante es que a partir de estos trabajos se ha generado mucha información básica, y se ha obtenido experiencia en los procesos de rehabilitación, con lo que la restauración ecológica puede llegar a ser un hecho.

Conclusiones

Las comunidades naturales son complejas, pero no por eso incomprensibles. Por lo tanto, es necesario que la investigación básica continúe. También es importante aplicar estos conocimientos en la manipulación y la predicción del comportamiento de los ecosistemas.

Ante la problemática ambiental de la pérdida de sistemas completos, la restauración ecológica debe ser tomada en cuenta como una posible respuesta para el manejo científico de comunidades y ecosistemas muy perturbados. La importancia de esta técnica como una forma de ecología aplicada y el valor para la investigación básica la sitúan como una

rama de la ecología con amplias expectativas a futuro. Las medidas para la restauración o reconstrucción ecológica pueden tener un enfoque multidisciplinario. Sin embargo sólo el ecólogo tiene el criterio biológico y ambiental que le daría coherencia a un estudio de esta naturaleza.

Agradecimientos

Deseo agradecer a la M. en C. Ivonne Vargas, al Dr. Jorge Meave del Castillo y a la M. en C. Irene Pisanty por la cuidadosa revisión y sus valiosos comentarios realizados a este artículo. 🌱

Bibliografía

Baines, J.C. 1989. "Choice in habitat re-creation", en G.P. Buckley (ed.) *Biological Habitat Reconstruction*, Belhaven Press, Londres.

Borman, F.H y G.E. Likens. 1979. *Pattern and Process in a Forested Ecosystem*. Springer-Verlag, Berlín.

Bradshaw, A.D. 1983. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20:1-17.

Bradshaw, A.D. 1984. Land restoration: now and in the future. *Proceedings of the Royal Society of London B* 223:1-23.

Bradshaw, A.D. 1990. "Restoration: an acid test for ecology", en W.R. Jordan III, E. Gilpin y D. Aber (eds.) *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*, Cambridge University Press, Cambridge.

Conell, J.H. y O.R. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111:1119-1141.

Clements, F.E. 1916. *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation*. Carnegie Int. Pub., Washington DC, pp. 242-512.

Diario Oficial de la Federación del 28 de junio de 1989. Decreto de Expropiación, pp. 31-39.

Drury, W.H. y I.C.T. Nisbet. 1973. Succession. *Journal of the Arnold Arboretum* 53:331-368.

Edler, F.E. 1954. Vegetation science concepts. I. Initial floristic composition a factor in old-field vegetation development. *Vegetatio* 4:412-417.

Ewel, J.J. 1990. "Restoration is the ultimate test of ecological theory", en W.R. Jordan III, E. Gilpin y D. Aber (eds.) *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*, Cambridge University Press, Cambridge.

Gleason, H.A. 1927. Further views on the succession concept. *Ecology* 8:299-326.

Hallé, F., R.A.A. Oldeman y P.B. Tomlinson. 1978.

Tropical Trees and Forests, Springer-Verlag, Berlín.

Harper, J.L. 1982. "After description", en E.I. Newman (ed.) *The Plant Community as a Working Mechanism*, Blackwell, Londres, pp. 11-25.

Harper, J.L. 1990. "The heuristic value of ecological restoration", en W.R. Jordan III, E. Gilpin y D. Aber (eds.) *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 35-45.

Hobbs, R.S. y Saunders, D.A. 1991. Re-integrating fragmented landscapes: a preliminary framework for the western Australian wheatbelt. *Journal of Environmental Management* 33:161-167.

Holland, M.M., G.P. Risser y R.J. Naiman. 1991. *Ecotones: the Role of Landscape Boundaries in the Management and Restoration of Changing Environments*. Chapman & Hall, Londres, pp. 1-7.

Horn, H.S. 1976. "Succession", en R. May (ed.) *Theoretical Ecology: Principles and Applications*, Blackwell, Londres, pp. 187-204.

Jordan III, W.R., M.E. Gilpin y J.D. Aber. 1990.

Peters, R.H. 1991. *A Critique for Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-14.

Pickett, S.T.A. 1976. Succession: an evolutionary interpretation. *The American Naturalist* 110:107-117.

Pickett, S.T.A., S.L. Collins y J.J. Armesto. 1987a. Models, mechanisms and pathways of succession. *The Botanical Review* 53:335-371.

Pickett, S.T.A., S.L. Collins y J.J. Armesto. 1987b. A hierarchical consideration of the causes and mechanisms of succession. *Vegetatio* 69:109-114.

Soberón, J. 1990a. Ecotecnología, predicción y ciencia. *Ciencias* (número especial) 4:65-74.

Soberón, J. 1990b. Restauración ecológica en el ajuusco medio. *Oikos* 5:4.

Stevens, T.H., R. Glass, T. More y J. Echeverría. 1992. Wildlife recovery: is benefit-cost analysis appropriate. *Journal of Environmental Management* 33:327-334.

Thompson, J.N. 1985. "Within-patch dynamics of life histories, populations and interactions. Selection over time in small spaces", en S.T.A.



"Restoration ecology: ecological restoration as a technique for basic research", en W.R. Jordan III, E. Gilpin y D. Aber (eds.), *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*, Cambridge University Press, Cambridge.

Martínez Ramos, M. y C.K. Samper. 1992. "Tree life history patterns and forest dynamics: a conceptual model for the study of plant demography in patchy environments", en prensa.

McIntosh, P.R. 1981. "Succession and ecological theory", en C.D. West, H.H. Shugart y B.D. Botkin (eds.) *Forest Succession: Concepts and Applications*, Springer-Verlag, Nueva York, pp. 10-23.

Odum, P.E. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164:262-270.

Peet, R.K. y L.N. Christensen. 1980. Succession, a population process. *Vegetatio* 43:131-140.

Pickett y P.S. White (eds.) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*, Academic Press, Orlando, pp. 253-264.

Watt, A.S. 1947. Pattern and process in plant community. *Journal of Ecology* 35:1-22.

White, P.S. y S.T.A. Pickett. 1985. "Natural disturbance and patch dynamics: an introduction", en S.T.A. Pickett y P.S. White (eds.) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*, Academic Press, Orlando, pp. 3-13.

Whitmore, T.C. 1975. *Tropical Rain Forest of the Far East*. Clarendon Press, Oxford.

Whittaker, R.H. 1975. *Communities and Ecosystems*. Segunda edición, Macmillan, Nueva York.

Eduardo Martínez Romero: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.