

Restauración ecológica y evolución

© Steve Windhager 1999
steve@unt.edu

RESUMEN

Desde mediados de los años 80, la capacidad para reparar ecosistemas dañados ha sido interpretada como una evidencia acerca de nuestro conocimiento de los mecanismos biológicos, de manera tal que la restauración ecológica ha sido propuesta como un "test ácido" para las teorías ecológicas. Esta afirmación se basa en el supuesto que para rearmar un sistema ecológico dañado, es condición necesaria el conocimiento del funcionamiento interno del sistema. Sin embargo, en la medida que continúa la investigación científica de sistemas ecológicos dañados, los vacíos de tal conocimiento quedan en mayor evidencia. Por lo tanto, numerosas áreas del estudio de los ecosistemas dañados se beneficiarían no sólo con la práctica de la restauración, sino que también con la investigación asociada al cuerpo teórico de la ecología y la evolución biológica. Tales áreas de investigación incluirían la genética, las presiones selectivas y capacidad adaptativa, los procesos de coevolución, extinción y recolonización. La restauración ecológica provee un campo experimental donde las hipótesis evolutivas pueden ser evaluadas, y donde a la vez los biólogos evolutivos podrían hacer su investigación más aplicables y accesible a un público amplio.

ABSTRACT

Since the mid 1980's, the ability to repair damaged ecosystems has been considered in many ways to be the evidence of our knowledge of biological mechanisms, and therefore restoration

ecology has been hailed as the “acid test” of ecological theory. This assertion is made on the assumption that in order to reassemble a damaged ecological system, an in-depth knowledge is needed of the inner workings of that system. As research in restored systems continues, the impoverishment of our knowledge becomes more evident. Areas of study exist in the restoration of damaged systems which could benefit not only the practice of environmental restoration, but also the body of theories associated with ecology and evolutionary biology. These areas of research concern genetics, the forces of selection and adaptation, coevolution, extinction, and recolonization. Restoration ecology provides a research framework which allows hypotheses in evolution to be tested, as well as a means by which evolutionary biologists can make their work more applicable and accessible to a wider scientific field.

Hace 10 años la restauración ecológica fue clasificada como el “test ácido” de las teorías ecológicas (véase Bradshaw, 1983; Jordan III et al., 1987), en el sentido de que el proceso de reparar sistemas ecológicos dañados constituye el test más riguroso que se pueda imaginar, y ofrece por tanto una oportunidad ideal para realizar avances en tales teorías. Pocos científicos han utilizado el proceso de restauración ecológica en todo su potencial para la investigación. Recientemente un número completo de la publicación *Restoration Ecology* ha sido dedicado a la discusión de las necesidades y oportunidades de investigación asociadas a la restauración de ecosistemas, en un intento por estimular el interés de utilizar la restauración ecológica para avances en teorías biológicas (Niering, 1997). Tal número invita también a los biólogos de la evolución a participar en proyectos de restauración ecológica e involucrarse en equipos y aproximaciones interdisciplinarias propias de esta práctica.

La restauración ecológica es el estudio y la práctica de la recreación de ecosistemas en funcionamiento y, cuando es posible, de la reintroducción de especies históricamente asociadas con tales ecosistemas. El proceso de

restaurar ecosistemas dañados requiere la aplicación de teorías referidas a la sucesión ecológica y biología de poblaciones, con fundamentos derivados de la genética y la teoría de selección natural, capacidad adaptativa y procesos de coevolución, mutualismos, extinción y recolonización. Una de las prácticas primarias es el restablecimiento de poblaciones localmente extintas. Este proceso se complica al combinar la reintroducción de poblaciones pertenecientes a especies que ocupan distintos niveles tróficos. Otro nivel de dificultad deriva del aislamiento geográfico de las poblaciones introducidas, exponiéndolas a presiones similares a las poblaciones colonizadoras de islas que contienen un *pool* genético limitado, y están sujetas a procesos estocásticos y de deriva genética. Confrontados con la conservación de pequeñas poblaciones en aislamiento, los ecólogos de la restauración deben formularse las siguientes preguntas teóricas:

1) ¿Cuál debiera ser la procedencia geográfica y el *pool* genético de la población reintroducida?

2) ¿Cuál es el tamaño mínimo de la población para permitir su viabilidad?

3) ¿Experimentarán las poblaciones los efectos de endogamia y exogamia?

4) ¿Se intentará conservar el genotipo expresado en el presente o el potencial evolutivo de la especie a largo plazo?

Sólo la primera de estas preguntas ha recibido alguna atención, debido en gran medida a la carencia de formas efectivas de evaluar las respuestas. En este sentido, las teorías evolutivas podría contribuir sustancialmente a la práctica de la restauración ecológica.

1) ¿Cuál debiera ser la procedencia geográfica y el *pool* genético de la población reintroducida?

Los biólogos de la conservación y ecólogos de la restauración reconocen la importancia de la capacidad de adaptación local para el re-establecimiento de poblaciones (Millar & Libby, 1989). Algunas poblaciones reintroducidas pueden sobrevivir, pero no desarrollan la capacidad para reproducirse en su “nuevo” ambiente. Por ejemplo, especies de plantas cuyas floraciones ocurren muy temprano o tarde en la estación reproductiva, especies animales que se reproducen en un mes inconveniente de manera que su camada debe enfrentar fríos o escasez de alimentos (Millar & Libby, 1989; Templeton, 1986). Esta situación puede remediarse al utilizar cepas genéticas de poblaciones de plantas adaptadas en otras regiones a presiones ambientales similares a las que deberán enfrentar en el ecosistema donde serán reintroducidas.

McNeilly (1987) ha demostrado cómo poblaciones de varias especies de gramíneas pueden adaptarse rápidamente para colonizar sitios contaminados por metales pesados. Poblaciones de especies de herbáceas exhiben también una capacidad de desarrollar tolerancia al pastoreo (Handel et al., 1994) o a condiciones de aridez o semi-aridez (Huenneke, 1991). La planta acuática *Vallisneria americana*, presenta una variedad genética que evolucionó en los lagos del norte de USA, donde desarrolla tubérculos subterráneos y permanece dormante durante el invierno. En cambio, las variedades de *V. americana* del sur de USA permanecen siempreverdes durante todo el año. Así, para reintroducción de poblaciones de *V. americana*

en lagos del sur que experimentan drásticas fluctuaciones en los niveles de agua, podría ser más conveniente introducir la variedad del norte que podría entrar en dormancia frente a períodos de desecación o sumergimiento en aguas profundas (Smart et al., 1996).

2) ¿Cuál es el tamaño mínimo de la población para permitir su viabilidad?

Los biólogos de la conservación se han esforzado por determinar “tamaños de poblaciones mínimos viables” (TPMV) durante los últimos 25 años, trabajando principalmente con especies animales, en particular mamíferos grandes (Soule, 1987). La determinación de TPMV es más complicada para especies vegetales debido a la variedad de estrategias de reproducción sexual y asexual que se encuentran dentro cada especie (Menges, 1991). La determinación de los tamaños poblacionales se dificulta aún más debido a que no todos los individuos estarán en una etapa reproductiva al mismo tiempo. Así, los ecólogos y biólogos de la conservación contrastan los censos poblacionales con los tamaños poblacionales efectivos (N_e) que incluye sólo a los individuos reproductivos – que serán responsables de mantener la diversidad genética de la población al momento de su reintroducción (Soule, 1987). Aunque el concepto teórico de N_e es simple, su determinación práctica es difícil y existe escasa investigación empírica al respecto (Montalvo, et al. 1997). Se ha sugerido como regla general que una población de 50 individuos podría sobrevivir sin experimentar depresión endogámica (la disminución en la variabilidad genética que impida la sobrevivencia de la especie, también llamado “inbreeding” genético) en el corto plazo, pero para la viabilidad en el largo plazo se requieren al menos

500 individuos (Soulé, 1980). Esta regla ha sido criticada por su sobregeneralización (Templeton, 1994) debido a variaciones en las historias de vida entre las especies y en las condiciones ambientales bióticas y abióticas a las que se enfrentarán las diversas poblaciones reintroducidas.

3) ¿Experimentarán las poblaciones los efectos de endogamia y exogamia?

La población que sirve de fuente a la sub-población reintroducida puede presentar un limitado *pool* genético respecto de la especie. La sub-población extraída para la experiencia de reintroducción podrá llevar una muestra genética aún más restringida respecto de la especie. En evolución se conoce como “efecto fundador,” al evento en que una población colonizadora de una isla o ecosistema aislado lleva consigo sólo una pequeña fracción del *pool* genético de la población parental y más pequeño aún respecto a la especie. Tal efecto fundador puede derivar en cambios evolutivos importantes que diferencien a la nueva población respecto a la parental o aún respecto a la especie (Mayr, 1976).

Una reducción del *pool* genético aumenta las probabilidades de homocigosis y, por lo tanto, la expresión de genes recesivos deletéreos. Esta “carga genética” disminuirá a su vez la probabilidad de establecimiento de la población en el largo plazo (Leberg, 1993; Templeton, 1986). El desafío será entonces el de preservar la variación genética necesaria en las poblaciones reintroducidas de manera de evitar la expresión de tales genes deletéreos y la capacidad de responder a perturbaciones antropogénicas y no-antropogénicas.

Una alternativa para resolver el problema de endogamia, es reintroducir varias subpoblaciones provenientes de distintas poblaciones parentales. Sin embargo, en algunos casos esta práctica conlleva una reducción en la fertilidad y/o viabilidad de los híbridos y sus descendientes. Este fenómeno conocido como depresión exogámica, se debe a la expresión de genes recesivos que se encuentran combinadamente en las poblaciones parentales (Templeton, 1986). Barrett y Kohn (1991) han enfatizado la importancia que experiencias de restauración ecológica pudieran tener para la teoría evolutiva al estudiar la depresión endogámica en poblaciones fundadoras con diversos orígenes genéticos, y para comparar los compromisos entre la utilización de una única o múltiples fuentes para las poblaciones reintroducidas.

4) ¿Se intentará conservar el genotipo expresado en el presente o el potencial evolutivo de la especie a largo plazo?

Templeton (1986) ha enfatizado el carácter controversial de la proposición de introducciones poblacionales de diversas fuentes genéticas mientras no se resuelva si se interesa conservar a nivel de poblaciones locales o nivel de especies. Una de las aproximaciones enfatiza la preservación de la capacidad evolutiva del linaje de la especie, y se preocupa menos de las diferencias interpoblacionales. La otra aproximación, en cambio, sugiere que los ecólogos de la restauración debieran preocuparse de preservar las expresiones fenotípicas y genéticas de las poblaciones locales de una especie dada, enfatizando la importancia de adaptaciones a las condiciones específicas de cada sitio. Más aún, la teoría evolutiva sugiere que poblaciones pequeñas

en condiciones de aislamiento podrían experimentar rápida especiación (Sarrazin & Barbault, 1996).

Ambas aproximaciones se presentan en proyectos de restauración, pero debido a que se desconocen muchos aspectos de la diversidad genética para las poblaciones de especies particulares en condiciones ambientales particulares, parece necesario maximizar las probabilidades de sobrevivencia de la población reintroducida en el largo plazo. Este dilema entre la preservación de caracteres locales y potencial evolutivo de las especies y las preguntas discutidas anteriormente sugieren claramente que una mayor colaboración entre los ecólogos de la restauración y los biólogos evolutivos resultaría mutuamente beneficiosa.

Referencias

- Barrett, S. C. H., and J. R. Kohn. 1991. Genetic and Evolutionary Consequences of Small Population Size in Plants: Implications for Conservation. Pages 3-30 in D. A. Falk and K. E. Holsinger, eds. *Genetics and Conservation in Rare Plants*. Oxford University Press, New York.
- Bradshaw, A. D. 1983. The Reconstruction of Ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 10: 1-17.
- Handel, S. N., G. R. Robinson, and A. J. Beattie. 1994. Biodiversity Resources of Restoration Ecology. *Restoration Ecology* 2: 230-241.
- Huenneke, L. F. 1991. Ecological Implications of Genetic Variations in Plant Populations. Pages 31-44 in D. A. Falk and K. E. Holsinger, eds. *Genetics and Conservation in Rare Plants*. Oxford University Press, New York.
- Jordan III, W. R., M. E. Gilpin, and J. D. Aber, eds. 1987. *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press, New York.
- Leberg, P. L. 1993. Strategies for Population Reintroduction: Effects of Genetic Variability on Population Growth and Size. *Conservation Biology* 7: 194-199.
- Mayr, E. 1976. Change of Genetic Environment and Evolution in E. Mayr, ed. *Evolution and the Diversity of Life: Selected Essays*. Belknap Press, Cambridge, Mass.
- McNeilly, T. 1987. Evolutionary Lessons from Degraded Ecosystems. Pages 271-286 in I. William R. Jordan, M. E. Gilpin, and J. D. Aber, eds. *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Menges, E. S. 1991. The Application of Minimum Viable Population Theory to Plants. Pages 45-61 in D. A. Falk and K. E. Holsinger, eds. *Genetics and Conservation of Rare Plants*. Oxford University Press, New York.
- Millar, C. I., and W. J. Libby. 1989. Disneyland or Native Ecosystem: Genetics and the Restorationist. *Restoration & Management Notes* 7: 18-24.
- Montalvo, A. M., S. L. Williams, K. J. Rice, S. L. Buchmann, C. Cory, S. N. Handel, G. P. Nabhan, R. Primack, and R. H. Robichaux. 1997. Restoration Biology: A Population Biology Perspective. *Restoration Ecology* 5: 277-290.
- Niering, W. A. 1997. Special Issue: Papers from the NCEAS Restoration Biology Workshop. *Restoration Ecology* 5.
- Sarrazin, F., and R. Barbault. 1996. Reintroduction: Challenges and lessons for basic ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 11: 474-478.
- Smart, R. M., R. D. Doyle, J. D. Madsen, and G. O. Dick. 1996. Establishment of native submersed aquatic plant communities for fish habitat. Pages 347-356 in L. E. M. a. D. R. DeVries, ed. *Multidimensional Approaches to Reservoir Fisheries Management*, American Fisheries Society Symposium.
- Soule, M. E. 1980. Thresholds for Survival: Maintaining Fitness and Evolutionary Potential. Pages 111-124 in M. E. Soule and B. A. Wilcox, eds. *Conservation Biology: Its Scope and Challenge*. Sinauer, Sunderland, Mass.
- Soule, M. E., ed. 1987. *Viable Populations for Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, Mass.
- Templeton, A. R. 1986. Coadaptation and Outbreeding Depression. Pages 105-116 in M. E. Soule, ed. *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
- Templeton, A. R. 1994. Biodiversity at the molecular genetic level: Experiences from disparate macroorganisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences* 345: 59-64.

Steven Windhager, es el fundador y primer presidente de la Sociedad de Restauración Ecológica de Texas. Actualmente se desempeña dentro de la Sociedad Internacional de Restauración Ecológica como representante para las regiones "Rocky Mountains" y "Great Plains". Desde Agosto de 1999, es Director del Centro par Restauración del Paisaje en el "Lady Bird Johnson Wildflower Center" en Austin, Texas, donde puede contactarse en el correo electrónico: stevew@wildflower.org. Windhager realizó sus estudios de postgrado en la Universidad de North Texas, donde obtuvo su grado de magister en filosofía ambiental en 1994 y su doctorado en ciencias ambientales en junio de 1999.