

Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación

J.F. Reynolds¹, F.T. Maestre², E. Huber-Sannwald³, J. Herrick⁴, P.R. Kemp⁵

(1) Department of Biology, Duke University, Phytotron Building, Box 90340, Durham, NC 27708, EEUU. - Division of Environmental Science and Policy, Nicholas School of Environmental and Earth Science, Duke University, Durham, NC 27708-90340, EEUU

(2) Department of Biology, Duke University, Phytotron Building, Box 90340, Durham, NC 27708, Estados Unidos - Unidad de Biodiversidad y Conservación, E.S.C.E.T., Universidad Rey Juan Carlos, C/ Tulipán s/n, 28933 Móstoles, España

(3) Departamento de Ingeniería Ambiental y Manejo de Recursos Naturales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), Apdo. Postal 3-74 Tangamanga 78231, San Luis Potosí, SLP, Mexico

(4) USDA-ARS Jornada Experimental Range MSC 3JER, Box 30003, NMSU, Las Cruces NM 88003--8003, EEUU.

(5) Division of Environmental Science and Policy, Nicholas School of Environmental and Earth Science, Duke University, Durham, NC 27708-90340, EEUU. - Department of Biology, University of San Diego, San Diego, CA 92110, EEUU.

La desertificación es uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrentan los países situados en zonas de clima árido, semiárido y seco-subhúmedo. Pese a su importancia y al ingente esfuerzo investigador realizado en las últimas décadas, existen numerosas incertidumbres en distintos aspectos que rodean a este complejo fenómeno. Buena parte de esta problemática tiene su origen en el hecho de que las dimensiones biofísicas y socioeconómicas de la desertificación han sido tradicionalmente estudiadas separadamente por científicos de las ciencias naturales y sociales, así como en la falta de un marco conceptual apropiado para analizar este fenómeno teniendo en cuenta ambas dimensiones simultáneamente. En el presente artículo se revisan los principales temas que rodean a la degradación de la tierra y la desertificación, se presenta un marco conceptual recientemente desarrollado para abordar sus dimensiones biofísicas y socioeconómicas simultáneamente, se revisan algunas de las principales medidas que se llevan a cabo para gestionar las áreas desertificadas y se discuten algunos de los principales retos a los que se enfrenta la investigación en este área.

Land degradation and desertification are among the most important environmental issues being faced by drylands. Despite its importance and the enormous research effort devoted to it in the last decades, desertification is a topic surrounded by controversy and disagreement. This controversy is rooted in the traditional separation of the biophysical and socio-economic dimensions of desertification, which have been studied separately by scientists from both the natural and the social sciences. This separation has been fueled by the lack of a conceptual and synthetic framework suited to deal with both dimensions simultaneously. In this article we review the main topics surrounding desertification, introduce a new conceptual framework designed to study the biophysical and socio-economic dimensions of desertification simultaneously, review some of the measures being carried out to manage desertified lands and discuss some of the main challenges ahead in the research and management arenas.

Introducción

La degradación de la tierra y la desertificación se encuentran entre los principales problemas ambientales a los que se enfrentan los países situados en zonas de clima árido, semiárido y seco-subhúmedo (Puigdefábregas, 1995; Kassas, 1995; Dregne, 1996; Darkoh, 1998; Reynolds y Stafford Smith, 2002a). Así, han sido descritas por las Naciones Unidas (ONU) como uno de los 'aspectos del cambio global más importantes a los que se enfrenta la humanidad' (UNCCD 1994). Prueba de su importancia es el hecho de que la desertificación, al igual que ocurre con el cambio global y la biodiversidad, es objeto de una convención internacional auspiciada por la ONU, la Convención para la Lucha contra la Desertificación (CLD). La CLD fue establecida para facilitar el papel de los gobiernos nacionales en el establecimiento y aplicación de políticas para combatir la desertificación. Esta convención proporciona una notable infraestructura (e.g. un Secretariado y un Mecanismo de Acción Global), que tiene como objetivo movilizar y canalizar los recursos económicos, así como transferir tecnología a los países en vías de desarrollo (detalles en Chasek y Corell, 2002).

Pese a contar con la CLD y ser un problema ambiental de primera magnitud científica, política y socioeconómica, la desertificación provoca más desacuerdo y controversia que consenso entre científicos, políticos y gestores del territorio (ej. Thomas y Middleton, 1994; Leach y Mearns, 1996; Reynolds y Stafford Smith, 2002a, **Tabla 1**). Mientras que la incertidumbre

y confusión asociadas a la desertificación derivan en parte de la falta de rigor científico de muchas de las bases de datos elaboradas durante los años 70, la falta de coherencia entre la información proporcionada por distintas agencias gubernamentales, la ausencia de consenso en cuanto a su definición y el propio tono alarmista del término (Grainger *et al.*, 2000; Reynolds, 2001), el asunto de fondo es que la desertificación es un fenómeno complejo que no se presta a ser caracterizado ni resuelto utilizando soluciones sencillas. En el presente artículo se revisan de una manera breve los principales temas que rodean a la desertificación, se introduce una nueva iniciativa a escala global desarrollada para avanzar en su conocimiento y mitigación, se evalúan las principales medidas disponibles para gestionar las zonas desertificadas y se discuten las principales necesidades futuras de investigación en este área.

Tabla 1. Algunos de los principales temas tratados en el debate sobre la desertificación. Históricamente, ha sido un tema controvertido que incluye aspectos ecológicos, climáticos y humanos que han sido tradicionalmente evaluados separadamente unos de otros. Fuente: Reynolds y Stafford Smith (2002a).

Aspectos generales

- * ¿Es la desertificación un proceso o un estado del ecosistema?
- * ¿Qué es la degradación de la tierra y la desertificación? ¿Existe alguna forma para cuantificar de manera objetiva dicha degradación?
- * ¿Tiene la desertificación el mismo significado en distintas zonas geográficas? ¿Es reversible?
- * ¿Bajo que circunstancias realmente importa la desertificación?
- * Globalmente, ¿cuál es la cantidad de superficie afectada? ¿Cómo puede determinarse? ¿Existen indicadores de la desertificación? Si es así, ¿son relevantes a una única escala o pueden extrapolarse a escalas espaciales mayores? (ej. pastoreo, deforestación) en este proceso?
- * ¿Cuales son las causas de la desertificación? ¿Cuál es la importancia relativa de los fenómenos naturales (ej. cambios en el clima) y de las actividades humanas (ej. pastoreo, deforestación) en este proceso?

Aspectos meteorológicos

- * ¿Cómo afectarán los cambios en el ciclo hidrológico causados por los cambios en el uso de la tierra a la vegetación?
- * ¿Pueden los cambios en las condiciones climáticas superficiales causados por la desertificación influir en el cambio global?
- * ¿Cuál es la relación entre la pérdida de vegetación, el albedo, las características de la superficie del suelo y la sequía?
- * ¿Acentuará el cambio global la variabilidad intrínseca de la precipitación y la temperatura en las zonas áridas y semiáridas?

Aspectos ecológicos

- * ¿Son los cambios a corto plazo en las propiedades bióticas de los ecosistemas indicadores de la desertificación?
- * ¿Existen umbrales de degradación irreversibles? ¿Cómo se pueden definir y anticipar estos umbrales? ¿Cuál es la importancia relativa de los procesos ecológicos y físicos a la hora de definir estos umbrales?
- * Si el cambio global acentúa la ya de por sí elevada variabilidad de la precipitación en las zonas áridas y semiáridas, ¿llevará esto a la degradación permanente de su potencial productivo?
- * ¿Pueden desarrollarse índices basados en indicadores del funcionamiento del ecosistema que puedan utilizarse para evaluar los procesos asociados a la desertificación?

Aspectos humanos

- * ¿Cómo afectan las poblaciones humanas de las zonas áridas y semiáridas a aquellos bienes y servicios del ecosistema que son vitales para su desarrollo?
- * ¿Debería definirse la desertificación en términos de pérdida de bienes y servicios del ecosistema que son clave para el desarrollo de las poblaciones humanas?
- * ¿Cuáles son los principales agentes socioeconómicos causales de la desertificación?
- * Los programas para combatir la desertificación establecidos a nivel regional y nacional, ¿se basan en la integración económica y sustentabilidad de la gente más directamente afectada?
- * ¿Cuáles son los papeles del gobierno, de las comunidades locales y de los usuarios en el mantenimiento de la sustentabilidad de las drylands??
- * ¿Cómo puede integrarse a la gente en los procesos de toma de decisión?
- * ¿Cuál es la respuesta de las poblaciones humanas a las diferentes etapas de la desertificación? ¿Existen respuestas adaptativas?
- * ¿Cuál es el papel de la tecnología a la hora de proporcionar nuevas oportunidades para la sustentabilidad de los sistemas socio-ecológicos de las drylands? del planeta?

Población humana y usos del suelo en las zonas áridas, semiáridas y seco-subhúmedas

La desertificación es un término tradicionalmente asociado a las zonas áridas, semiáridas y secas-subhúmedas, genéricamente denominadas "drylands" (en adelante, zonas áridas). Estas zonas se caracterizan por condiciones climáticas extremas, con precipitación escasa y muy variable, temperaturas elevadas (o muy bajas en el caso de los "desiertos fríos") y elevada evapotranspiración potencial. Técnicamente, las zonas áridas se definen como zonas que tienen un índice de aridez (obtenido a partir del cociente entre la precipitación anual media y la evapotranspiración potencial media) comprendido entre 0.05 y 0.65 (véase Middleton y Thomas, 1997 para una revisión). De acuerdo con los valores de este índice, el 30% de las zonas áridas están en zonas propiamente áridas, el 45% están en zonas semiáridas y el 25% en zonas secas-subhúmedas. En su conjunto, las zonas áridas cubren casi 5.2 billones de hectáreas o el 40% de la superficie terrestre (**Tabla 2**). La mayor parte de esta superficie está ocupada por matorrales (24%), seguido de zonas de cultivo (20%), zonas esteparias (15%), herbazales (13%), bosques (8%) y zonas urbanas (3%).

Las zonas áridas constituyen el lugar donde se desarrolla la vida de unos dos billones de personas (**Tabla 2**). Asia y África albergan el 64% del total de zonas áridas a escala global. No obstante, estos números son algo engañosos, ya que mientras que Europa contiene sólo el 5% del total de zonas áridas, éstas representan cerca del 32% del total de su superficie y albergan al 25% de su población. Igualmente, Australia contiene únicamente el 10% del total de zonas áridas a escala global, pero éstas ocupan el 75% de su superficie y albergan al 25% de su población. Así pues, estas zonas son claves a la hora de determinar la economía, cultura y clima de continentes como Europa y Australia.

Tabla 2. Distribución, usos del suelo y población de las zonas áridas a escala global. Adaptada de Reynolds et al. (2005)

a. Distribución de las zonas áridas ($\cdot 10^6$ ha)					
	Árido	Semiárido	Seco-subhúmedo	% sobre el total de z. áridas	% sobre total área continental
Asia	625.7	693.4	352.7	31.7	46
África	503.5	513.8	268.7	31.9	66
Europa	11.0	105.2	183.5	4.9	32
América del Sur	44.5	264.5	207.0	8.8	31
América del Norte	81.5	419.4	231.5	12.0	34
Oceanía	303.0	309.0	51.3	10.8	75
Totales	1569.2	2305.3	1294.7	5169.2	47.2

b. Distribución de la cobertura ($\cdot 10^3$ km ²)					
	Árido	Semiárido	Seco-subhúmedo	Totales	% sobre total área continental
Matorrales	6834	5344	499	12677	24
Cultivos	469	5299	4747	10515	20
Formaciones abiertas	834	4018	3026	7878	15
Herbazales	1808	4728	649	7185	13
Bosques	114	1402	2839	4355	8
Zonas urbanas	257	818	658	1733	3
Otras	5594	2130	1491	9215	17
Totales	15910	23739	13909	53558	100

c. Distribución de la población humana (millones)					
	Árido	Semiárido	Seco-subhúmedo	Totales	Población que vive en zonas áridas (%)
Asia (incluyendo a Rusia)	161554	625411	657899	1444906	42
África	40503	117649	109370	267563	41
Europa	629	28716	111216	140586	25
América del sur	6331	46852	33777	86990	30
América del norte	6257	41013	12030	59323	23
América Central y Caribe	6494	12888	12312	31719	25
Oceanía	275	1342	5318	6960	25
Totales	222043	873871	941922	2038047	37

¿Qué es la desertificación?

Hasta la fecha se han propuesto más de cien definiciones formales de desertificación (**Tabla 3**). Estas definiciones cubren una gran variedad de temas, incluyen distintas escalas espaciales y temporales y a menudo no son compatibles entre sí (Reynolds 2001). Esta controversia que rodea a su definición se debe al hecho de que la desertificación es un fenómeno complejo que tiene numerosas facetas, algunas de las cuales no son fácilmente identificables. Una confusión bastante común entre científicos de distintas áreas y gestores del territorio es el igualar la degradación de la tierra con la degradación del suelo. Mientras que la importancia de los recursos edáficos en este fenómeno es incuestionable, la desertificación es un fenómeno más general, que afecta a todo el ecosistema. Así, la definición de Stocking y Murnaghan (2001) enfatiza los cambios en las variables biofísicas y su impacto en las poblaciones humanas: ¿la degradación de la tierra es el fenómeno mediante el cual cambios en el estado de uno o más recursos (suelos, vegetación, agua, etc.) provocan una disminución temporal o permanente de su capacidad productiva?. La definición adoptada por la CLD va más allá, y define la degradación de la tierra como ¿la reducción o pérdida de la productividad económica y complejidad de los ecosistemas terrestres, incluyendo a los suelos, vegetación y a otros componentes bióticos de los ecosistemas, así como a los procesos ecológicos, biogeoquímicos e hidrológicos que tienen lugar en los mismos?. Según esta definición, la degradación de la tierra incluiría, entre otros, a fenómenos como la erosión eólica e hídrica, los cambios en el régimen de incendios, las alteraciones en los ciclos biogeoquímicos (ej. disminución en la capacidad de reciclaje de nutrientes y pérdida de los mismos del sistema) y las invasiones biológicas.

El CLD define la desertificación como la ¿degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas resultante de varios factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas?. Esta definición es muy útil porque deja claro que la desertificación es un fenómeno que tiene componentes biofísicos y socioeconómicos que afectan al bienestar de las personas, comprende las dos dimensiones del problema (biofísica y socioeconómica), y enfatiza el hecho de que la degradación de la tierra no es equivalente a la degradación del suelo *per se*. Pese a que tiene distintos problemas, algunos de los cuales se discutirán posteriormente, pensamos que es la más adecuada de todas las que se han propuesto hasta la fecha.

Tabla 3. Ejemplos seleccionados de definiciones de desertificación que difieren en el énfasis que ponen en las dimensiones biofísicas (separadas aquí en aspectos ecológicos y meteorológicos) y socioeconómicas. Fuente: Reynolds (2001).

Definición	Aspectos ecológicos	Aspectos climáticos	Aspectos humanos
- Expansión de las condiciones de desierto en zonas áridas o semiáridas debido a la influencia de la actividad humana o al cambio climático		X	X
- Disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra, que puede llevar a condiciones de desierto	X		X
- Una parte del deterioro generalizado de los ecosistemas debida a la combinación de condiciones climáticas adversas y fluctuantes y a una excesiva explotación de los recursos	X	X	X
- El proceso de degradación ambiental en zonas no arenosas donde el ecosistema es perturbado por las actividades humanas	X		X
- El empobrecimiento de los ecosistemas terrestres debido al impacto de las actividades humanas. El proceso de deterioro que puede medirse por la reducción en la productividad de especies de interés, las modificaciones no deseadas en la biomasa y diversidad de flora y fauna, la aceleración de la degradación del suelo y el aumento de los riesgos para la ocupación humana	X		X
-El proceso irreversible de disminución de la productividad biológica de zonas áridas y semiáridas derivado de presiones causadas por las actividades humanas (ej, aumento de la población) y por factores abióticos (ej, cambios en el régimen de precipitaciones)	X	X	X
- La expansión de las condiciones de desierto y baja productividad biológica debido al impacto de las actividades humanas bajo variaciones climáticas	X	X	X

- La expansión de las condiciones de desierto en áreas donde no deberían existir dichas condiciones debido a sus características climáticas		X	
- La degradación de la tierra derivada del impacto negativo de las actividades humanas			X
- La degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas resultante de varios factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas	X	X	X

¿Cuánta superficie está afectada por la desertificación?

Estimar de manera precisa la superficie afectada por la desertificación es una tarea difícil. Los organismos oficiales estiman que el 70 % de toda la superficie ocupada por las zonas áridas está afectada por la desertificación (UNCCD 2000). Estas cifras han sido criticadas y puestas en duda por distintos autores (Thomas, 1997; Lal, 2001), ya que se obtienen a partir de estimaciones subjetivas proporcionadas por expertos, evaluaciones cualitativas y datos de variada consistencia y credibilidad. Lamentablemente, la definición de desertificación proporcionada por el CLD no permite una sencilla cuantificación de la superficie afectada por este proceso, especialmente si dicha cuantificación tiene que darse en la forma de un índice numérico. Además, la mayor parte de estimaciones de la superficie afectada por la desertificación sólo tienen en cuenta los factores biofísicos (ej. erosión, pérdida de cobertura vegetal, cambios en el albedo) o socioeconómicos (ej. pérdidas económicas, disminución de la producción, movimientos de la población), pero raramente consideran ambos factores simultáneamente (Landa *et al.*, 1997; Wu y Ci, 2002; Liu *et al.*, 2003).

Parte de la incertidumbre que rodea a las estimaciones realizadas hasta la fecha podría eliminarse si los futuros esfuerzos en esta materia se centraran en realizar evaluaciones sintéticas que incluyan variables biofísicas y socioeconómicas. La utilización de variables críticas que contribuyan a comprender la causa, más que el efecto, de la desertificación permitirá también establecer de manera más precisa las zonas ya desertificadas, así como predecir aquellas áreas que serán desertificadas en el futuro (Stafford Smith y Reynolds 2002). Por supuesto, estas tareas no son fáciles y se ven complicadas por el hecho de que la importancia relativa de los distintos agentes causales de la desertificación varía tanto en el espacio como en el tiempo. Así pues, aproximaciones desarrolladas para estimar la desertificación en una región determinada pueden no ser efectivas en otros lugares.

Causas de la desertificación

La desertificación es causada por un gran número de factores que varían en función de la región que se considere y que están relacionados en mayor o menor medida. Utilizando una base de datos a nivel global formada por 132 estudios de caso, Geist y Lambin (2004) han identificado cuatro categorías principales de agentes causales de la desertificación: (i) aumento en la aridez, (ii) impactos de la actividad agrícola y ganadera, (iii) extracción de madera y de otros componentes de la vegetación y (iv) impactos del aumento en las infraestructuras, que pueden separarse en regadíos, carreteras, poblaciones e industria extractiva (minería, petróleo, gas, etc.). Según este estudio, el 10 % de los casos evaluados fueron causados por un único factor (5 % debido a un aumento en la aridez y 5 % debido a los impactos de la actividad agrícola y ganadera), el 30 % fueron causados por la combinación de dos factores y el resto fueron causados por la combinación de tres o cuatro factores.

El estudio de Geist y Lambin (2004) también identificó que la importancia relativa de los distintos agentes causales varía en función de la región que se considere, y que dichos agentes están a su vez condicionados por combinaciones de factores socioeconómicos y biofísicos inherentes a las distintas regiones. Así, en el 54 % de los casos evaluados en el sur de Europa tanto el clima como los factores tecnológicos fueron identificados como las principales causas que originan la desertificación. Por su parte, en el 38 % de los casos evaluados en África, se ha concluido que la desertificación fue causada por el clima, solo o actuando en combinación con cambios demográficos. En los Estados Unidos, el 50 % de los casos evaluados fueron atribuidos a la combinación del clima con los factores tecnológicos o a estos dos factores interactuando con factores económicos. Los casos evaluados en Asia, América Latina y Australia sólo pudieron ser atribuidos a interacciones complejas entre los distintos agentes causales evaluados.

Consecuencias de la desertificación

La desertificación tiene importantes consecuencias desde el punto de vista biofísico y socioeconómico, visibles a distintas escalas espacio-temporales (Fig. 1). Un tratamiento en profundidad de las consecuencias de la desertificación se escapa a los objetivos de este capítulo, aunque algunas de las más relevantes se presentan en la **Tabla 4**. Desde el punto de vista socioeconómico, la mayor parte de las consecuencias derivan de la pérdida de la capacidad de la tierra para mantener el crecimiento vegetal y la producción animal. Durante las primeras etapas de la desertificación estas pérdidas son compensadas por la resiliencia de las poblaciones humanas, especialmente en los países en vías de desarrollo, o por incentivos económicos otorgados por los gobiernos (Vogel y Smith, 2002). No obstante, cuando ciertos umbrales son

sobrepasados, la resiliencia social y los subsidios de los gobiernos pueden no ser suficientes para compensar la pérdida de productividad de la tierra, y ello genera toda una batería de cambios socioeconómicos que van desde pequeños cambios en la actividad comercial hasta grandes movimientos migratorios (Fernández *et al.*, 2002).



Figura 1. Distintos aspectos de la desertificación en zonas áridas y semiáridas. (a) Erosión hídrica en un espartal de *Stipa tenacissima* en Petrel (Alicante), (b) Erosión eólica en Argentina, (c) Erosión hídrica en la comunidad de La Amapola (San Luis Potosí, México), (d) Formación arbustiva en una zona tradicionalmente ocupada por especies herbáceas en la Estación Experimental de Jornada (Nuevo México, Estados Unidos), (e) Sobrepastoreo por ganado vacuno en la Estación Experimental de Jornada y (f) Los habitantes de zonas desertificadas a menudo dependen de ayuda externa para poder subsistir; reparto de ayuda humanitaria a los habitantes de la comunidad de La Amapola. Créditos de las fotografías: (a) y (d) Fernando T. Maestre, (b) Roberto Distel, (c) y (f) James F. Reynolds y (e) Ross Virginia.

Desde el punto de vista biofísico, virtualmente todas las consecuencias comienzan con la pérdida o degradación del suelo y la vegetación. Estas pérdidas tienen un 'efecto en cascada' sobre otros componentes y procesos bióticos que llevan a un deterioro progresivo de la estructura y funcionamiento del ecosistema. Las consecuencias biofísicas de la desertificación difieren de manera notable entre regiones en función de: (i) la intensidad y el número de agentes causales involucrados, (ii) la extensión del área afectada y (iii) la duración de la degradación. Incluso dentro de una región determinada las consecuencias

van a variar en función de las características intrínsecas del ecosistema y de las distintos componentes y procesos del ecosistema que sean analizados. Por ejemplo, existe cierto consenso en asociar el reemplazamiento de herbazales por matorrales que está ocurriendo en el sur de los Estados Unidos y en zonas de América del Sur con la desertificación (Schlesinger *et al.*, 1990; Van Auken, 2000). Este cambio ha traído consigo la pérdida de suelo y de productividad vegetal y la modificación de los ciclos de nutrientes en los ecosistemas que se han visto invadidos por los arbustos (Schlesinger *et al.*, 1999; Huenneke *et al.*, 2002). No obstante, este proceso también ha aumentado la diversidad de especies de aves (Pidgeon *et al.*, 2001), mamíferos (Whitford, 1997) y hormigas (Bestelmeyer, 2005) en estas áreas. Así pues, es difícil generalizar sobre las consecuencias biofísicas de la desertificación, así como aplicar generalidades comúnmente asociadas a este proceso a situaciones específicas, proceso que fácilmente inducirá a error y a aumentar la incertidumbre que rodea a la desertificación.

Tabla 4. Algunas consecuencias socioeconómicas y biofísicas de la desertificación y las escalas espaciales a las que son más relevantes. La lista no es exhaustiva.

Dimensión	Consecuencia	Escala [?]	Ejemplos
Socioeconómica	- Disminución de las cosechas	F, C	Zaman (1997)
	- Disminución de la producción animal	F, C	Fredrickson <i>et al.</i> (1998)
	- Pérdida de especies con interés económico	C, N	Latchininsky & Gapparov (1996)
	- Movimientos migratorios	C, N	Pamo (1998)
	- Pérdida de conocimiento ecológico tradicional	C, N	Bolig & Schulte (1999)
	- Pérdida de estructuras agrícolas tradicionales	N, I	Gallart <i>et al.</i> (1994)
	- Cambios en los patrones de uso de la tierra	C, N	Zhao <i>et al.</i> (2005)
Biofísica	- Pérdida de nutrientes edáficos	P, L	Schlesinger <i>et al.</i> (1999)
	- Disminución en la tasa de infiltración	P	Sharma (1998)
	- Modificación de la geomorfología	P, R	Lavee <i>et al.</i> (1998)
	- Aumento de la acumulación de sedimentos en lagos	P, L, R	Kelley & Nater (2000)
	- Disminución de la cobertura vegetal	P, L, R	Asner <i>et al.</i> (2003)
	- Cambios en la riqueza específica y la composición de especies	P, L, R	Gonzalez (2001)
	- Cambios en la productividad primaria neta	P, L, R	Huenneke <i>et al.</i> (2002)
	- Cambios en el patrón espacial de los recursos	P, L, R	Schlesinger <i>et al.</i> (1990)
	- Pérdida de biodiversidad	R, G	Whitford (1993)
	- Aumento de la biodiversidad	R, G	Bestelmeyer (2005)
	- Pérdida de la costra biológica	P, L	Belnap & Eldridge (2001)
	- Disminución del carbono almacenado en el suelo	P, L, R, G	Jackson <i>et al.</i> (2002)
	- Disminución de los nutrientes almacenados en el suelo	P, R	Asner <i>et al.</i> (2003)
	- Reducción en la resiliencia del ecosistema	P, L, R	Von Handenberger <i>et al.</i> (2001)
	- Cambios en el clima	R, G	Rosenfeld <i>et al.</i> (2003)

[?]Véase la **Tabla 5** para una presentación de estas escalas. Dimensión socioeconómica: F = granja/unidad familiar, C = comunidad, N = nacional/internacional; Dimensión biofísica: P = mancha; L = paisaje, R = regional; G = global.

Escala y jerarquía

Debido a que procesos y actividades que tienen lugar a escala local a menudo tienen consecuencias a escalas mayores y viceversa, es necesario adoptar una visión pluriescalar y jerárquica a la hora de estudiar la desertificación. En la **Tabla 5** se presentan distintas escalas de interés en este fenómeno desde las perspectivas biofísicas y socioeconómicas. Los sistemas socioecológicos se encuentran organizados de manera jerárquica (Stafford Smith y Reynolds, 2002) y deben de evitarse los errores que invariablemente ocurren si se intenta extrapolar a lo largo de un rango grande de escalas (ej. predecir que ocurrirá

en una unidad familiar determinada basándose en observaciones a escala nacional). Sørbø (2003) describe distintos ejemplos de comunidades pastorales en África que demuestran la importancia de la escala. Estas comunidades se organizan en distintas unidades que funcionan como entidades políticas, sociales y económicas independientes, y que han evolucionado a lo largo de los años para adaptarse a un ambiente difícil e impredecible. La falta de conocimiento sobre su complejo funcionamiento ha propiciado que las iniciativas establecidas desde niveles administrativos superiores (gobierno nacional) para gestionar las zonas ocupadas por estas comunidades hayan tenido poco éxito. No obstante, la creación de estructuras en niveles jerárquicos superiores, como el CLD, pueden proporcionar el contexto apropiado para que niveles jerárquicos inferiores sean conscientes de la desertificación y su importancia (Batterbury *et al.*, 2002; Lambin *et al.*, 2002).

Tabla 5. Ejemplos de varias escalas socioeconómicas y biofísicas de interés para la desertificación y de variables clave asociadas. La lista de variables clave no es exhaustiva, y hay variables que son relevantes a más de una escala. Modificado a partir de Stafford Smith y Reynolds (2002) y Prince (2002).

Dimensión socioeconómica		Dimensión biofísica	
Escala	Variables clave	Escala	Variables clave
Granja/Unidad familiar	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño de la unidad familiar - Características del trabajo - Características del suministro de alimentos (ej. seguridad, flexibilidad, etc.) - Desarrollo tecnológico - Patrones de uso de la tierra 	Mancha	<ul style="list-style-type: none"> Cobertura vegetal Nutrientes edáficos Infiltración y capacidad de almacenamiento de agua del suelo Variables abióticas (ej., pendiente, orientación)
Comunidad/Pueblo	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedad de la tierra - Características del gobierno local - Tamaño de la población - Flexibilidad del mercado de trabajo 	Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de sedimentos Riqueza y composición específica Productividad primaria neta
Distrito/Provincia	<ul style="list-style-type: none"> - Ordenación del territorio - Reformas agrícolas - Conflictos étnicos, sociales y económicos entre grupos - Limitaciones económicas (subsidios) - Oportunidades económicas - Riesgos naturales (inundaciones, sequía, incendios, plagas, etc.) 	Regional	<ul style="list-style-type: none"> Geomorfología Reservas de nutrientes edáficos (ej. fósforo y nitrógeno) Resiliencia del ecosistema
Nacional/ Internacional	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento de la población humana - Indicadores macroeconómicos - Políticas nacionales (ej. programas de asentamientos, incentivos económicos) - Conflictos nacionales e internacionales (ej. guerras) 	Global	<ul style="list-style-type: none"> Clima (ej. precipitación, radiación, albedo) Biodiversidad Cobertura de los distintos tipos de vegetación

El Paradigma de la Desertificación de Dahlem (PDD): una nueva iniciativa para avanzar en el conocimiento y mitigación de la desertificación a escala global

La evaluación simultánea de las causas y consecuencias biofísicas y socioeconómicas de la desertificación ha sido reconocida como uno de los principales retos en la investigación sobre la desertificación (Reynolds, 2001). En un intento de abordar este reto, los programas de investigación internacional ?Global Change in Terrestrial Ecosystems (GCTE)? y ?Land Use and Cover Change (LUCC)? unieron sus fuerzas para establecer una iniciativa a escala global sobre la desertificación. Uno de los primeros productos de dicha actividad fue el lanzamiento del libro ?Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?? (Reynolds y Stafford Smith, 2002b), que evalúa de manera explícita muchas de las interacciones que tienen lugar entre los aspectos biofísicos y socioeconómicos de la desertificación. Basándose en la multitud de interacciones y sinergias entre los sistemas biofísicos y socioeconómicos que tienen lugar en las zonas áridas y semiáridas, así como en la información presentada en los capítulos de dicho libro, Stafford Smith y Reynolds (2002) propusieron el Paradigma de la Desertificación de Dahlem (PDD). El PDD es un nuevo marco conceptual que tiene dos características principales: (i) pretende englobar las distintas interrelaciones dentro de los sistemas biofísicos y ambientales que originan la desertificación utilizando un único marco conceptual sintético y (ii) puede ser evaluado empíricamente, lo que asegura que sea un marco conceptual dinámico, que puede ser revisado y mejorado.

En este apartado se presenta una breve descripción de los principales elementos que forman el PDD, así como de las distintas iniciativas que se están llevando a cabo para evaluarlo. Como ocurre con muchos paradigmas, las ideas del PDD no son nuevas, pero la forma en la que se sintetizan y presentan en el mismo proporciona una nueva visión del complejo fenómeno que es la desertificación. El PDD consiste en nueve afirmaciones (**Tabla 6**) que comprenden una visión jerárquica de la degradación de la tierra, recogen todas las escalas de interés en el estudio de la desertificación y enfatizan las relaciones entre los sistemas socioeconómicos y biofísicos a distintas escalas espacio-temporales (véase Stafford Smith y Reynolds, 2002 para una descripción detallada de las afirmaciones).

Tabla 6. Las nueve afirmaciones del Paradigma de la Desertificación de Dahlem y algunas de sus implicaciones. Fuente: Stafford Smith y Reynolds (2002).

Afirmaciones	Implicaciones
Afirmación 1. La desertificación incluye siempre siempre condicionantes humanos y ambientales	Incluir variables socioeconómicas y biofísicas en cualquier plan de supervisión o intervención
Afirmación 2. Las variables ? lentas? son determinantes críticos de la dinámica del sistema	Identificar y gestionar el pequeño número de variables ? lentas? que conducen aquellos bienes y servicios del ecosistema ? rápidos? que son importantes a una escala dada
Afirmación 3. Los umbrales son críticos, y pueden cambiar en el tiempo	Identificar aquellas variables en las cuales existe un aumento significativo en los costes de las actividades de recuperación si se cruzan ciertos umbrales. Cuantificar dichos costes y buscar la manera de gestionar los umbrales para aumentar la resiliencia del ecosistema
Afirmación 4. Los costes de intervención aumentan de manera no lineal con el aumento de la degradación	Intervenir lo más rápidamente posible para reducir los costes asociados a las intervenciones a mayor escala
Afirmación 5. La desertificación es una propiedad emergente a escala regional derivada de la degradación local	Definir con precisión la extensión espacio-temporal y los procesos derivados de la degradación a escala local
Afirmación 6. Los sistemas humano-ambientales cambian en el tiempo	Entender y gestionar las circunstancias en las cuales los subsistemas humano y ambiental se desacoplan
Afirmación 7. El desarrollo de un conocimiento ambiental a escala local apropiado debe ser acelerado	Crear mejores relaciones entre el conocimiento ambiental a escala local y la investigación científica convencional, empleando buenos diseños experimentales y sistemas eficaces de seguimiento e intercambio de información
Afirmación 8. Los sistemas son jerárquicos	Conocer y gestionar el hecho de que los cambios en un nivel afectan a otros; crear instituciones flexibles pero ligadas a través de los niveles jerárquicos y asegurar que los procesos se gestionan con las instituciones apropiadas a cada escala
Afirmación 9. Una serie limitada de procesos y variables a cualquier escala hacen el problema manejable	Analizar los tipos de síndromes de degradación de la tierra a las distintas escalas. Únicamente se necesitan un determinado número de procesos y variables socioeconómicas y biofísicas a una escala dada para capturar los mecanismos de cambio

Los principales puntos recogidos en el PDD son:

- que una aproximación integrada, que considera de manera simultánea los atributos biofísicos y socioeconómicos de las zonas áridas, es fundamental para comprender la desertificación (afirmaciones 1 y 7);
- que los atributos biofísicos y socioeconómicos que causan la degradación de la tierra en una región dada son invariablemente ? lentos? (ej. nutrientes edáficos) respecto a otros atributos que son de preocupación más inmediata para el bienestar humano (ej. rendimiento de las cosechas). Es necesario distinguir entre variables ? lentas? y ? rápidas? con el fin de identificar las causas de la desertificación y separarlas de sus consecuencias (afirmación 2);
- que los sistemas socioecológicos de las zonas áridas son dinámicos (afirmaciones 3 y 6; **Fig. 2**);
- que mientras las variaciones espacio-temporales son inevitables, existe una serie de procesos concretos que gobiernan el funcionamiento de los ecosistemas, permitiendo así que sean comprendidos y gestionados (afirmación 9);
- que una vez que los sistemas socioecológicos son degradados, su restauración requiere intervención externa (afirmación 4);

- que los sistemas socioecológicos tienen una estructura jerárquica (afirmación 8). Así pues, la desertificación es una propiedad emergente a escala regional resultante de la degradación a escala local (afirmación 5).

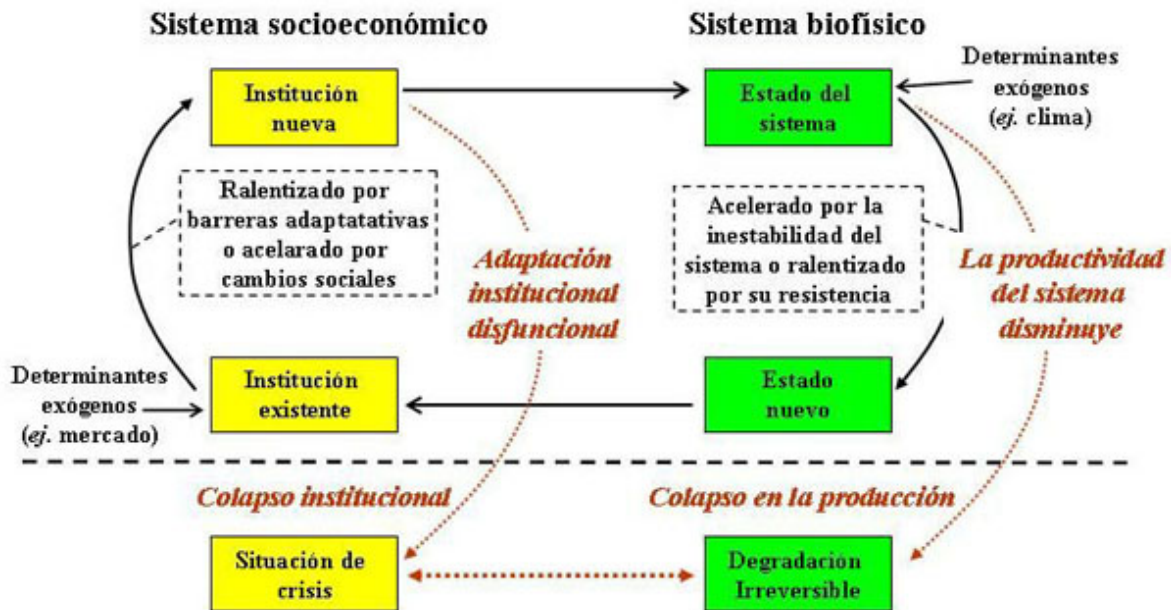


Figura 2. Los sistemas socio-ecológicos son altamente dinámicos. Cuando los cambios ambientales e institucionales ocurren a la vez, es decir cuando la tasa de cambio y el solapamiento espacial de los sub-sistemas biofísico y socio-económico coinciden (ilustrado por el ciclo situado arriba de la línea horizontal punteada), es posible mantener un uso sostenible de la tierra, incluso bajo condiciones de cambios drásticos e incertidumbre. El cambio ambiental acelerado y la falta de adaptación institucional a estos cambios (líneas punteadas marrones y texto en cursiva) pueden llevar a la crisis social y a la degradación ambiental irreversible. Adaptado de Robbins et al. (2002).

La iniciativa conjunta del GCTE y el LUCC que dio lugar a la creación del PDD se enmarca dentro de ARIDnet (?Assessment, Research and Integration of Desertification network?), una red internacional de investigación que se estructura en tres nodos (**Fig. 3**). ARIDnet (véase la página web <http://www.biology.duke.edu/aridnet> y Reynolds et al. (2003) para más información) está realizando cuatro tareas específicas:

- Evaluación del PDD: mediante la realización de congresos y simposios realizados en distintas partes del mundo, ARIDnet desarrollará y mejorará los contenidos del PDD gracias a la participación de la comunidad internacional de científicos y gestores del territorio.
- Estudios de caso: distintos grupos de trabajo se han creado para evaluar estudios de caso en distintas regiones del globo, en los cuales se aplicará el PDD siguiendo un protocolo estandarizado y enfatizando la interrelación entre las dimensiones biofísicas y socioeconómicas de la desertificación. Estos estudios de caso utilizarán datos disponibles y serán seleccionados para recoger un amplio rango en las condiciones biofísicas y socioeconómicas existentes en las zonas áridas. Hasta la fecha se ha evaluado un estudio de caso en México (Huber-Sannwald et al., 2005) y nuevas zonas serán evaluadas en los próximos meses.
- Síntesis: los distintos estudios de caso se englobarán en una evaluación cuantitativa de aquellos aspectos más relevantes de la desertificación. Esta síntesis se centrará en las interacciones entre las dimensiones biofísicas y socioeconómicas de este fenómeno.
- Trabajo en grupo: ARIDnet pretende fomentar la participación de una gran variedad de investigadores de distintos ámbitos científicos y países en sus actividades.

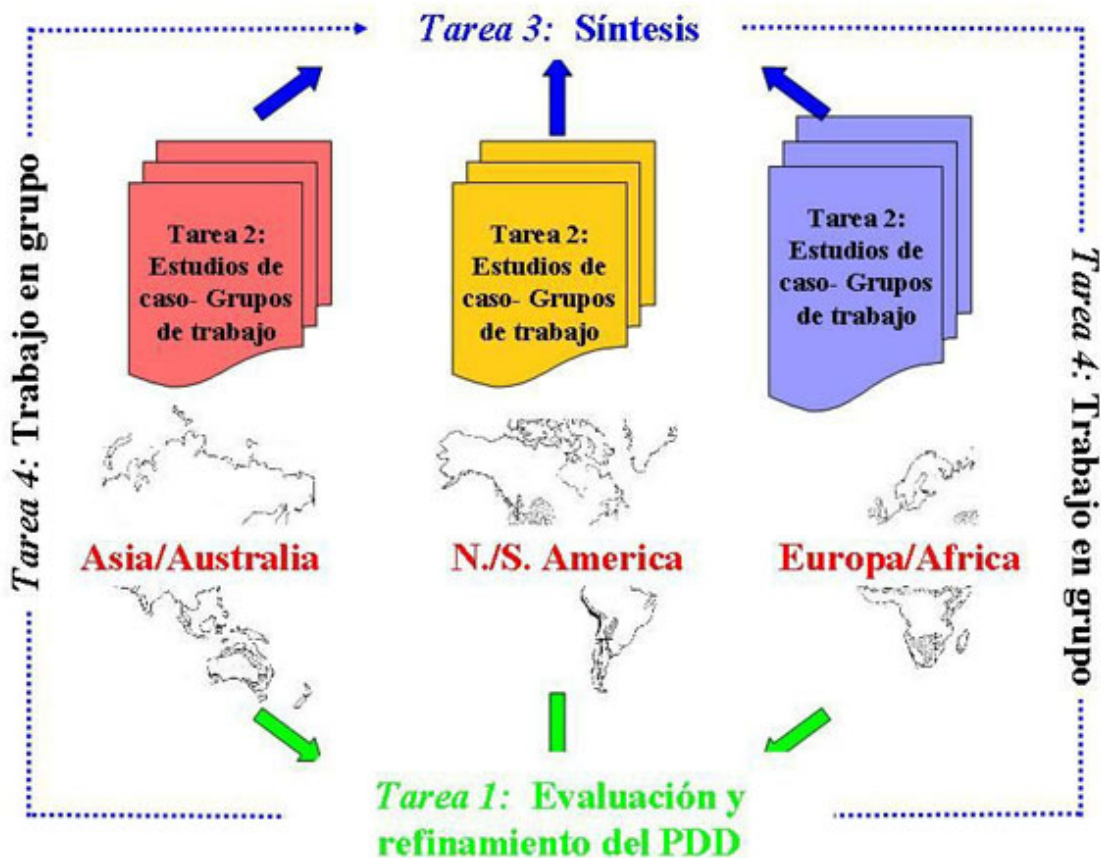


Figura 3. Representación esquemática de la organización y tareas de ARIDnet. ARIDnet es una red de investigación coordinada por un comité de dirección internacional, pero estructurada funcionalmente en tres nodos geográficos (América del Norte y del Sur; Asia/Australia y Europa/África), cada uno con financiación y dirección independiente (Reynolds et al. 2003). ARIDnet tiene cuatro tareas específicas (véase el texto para detalles sobre las mismas). La página web de ARIDnet (<http://www.biology.duke.edu/aridnet/>), en fase de desarrollo en la actualidad, tiene como fin el facilitar la ejecución de las distintas tareas y la coordinación entre los distintos integrantes de la red.

Gestión de zonas desertificadas

En apartados precedentes se han proporcionado ejemplos de la magnitud e importancia de la desertificación como un problema ambiental de primer orden a escala global. Con el fin de prevenir el avance de la desertificación y de restaurar las zonas afectadas por este proceso, numerosos países han puesto en marcha distintas políticas y actuaciones sobre el terreno. Estas acciones pueden englobarse en tres grandes apartados: prevención, seguimiento y restauración.

Las acciones encaminadas a prevenir la aparición de la desertificación son bastante escasas y, cuando existen, normalmente se centran en aquellos factores antrópicos que originan este problema. Dichas acciones varían en función de las características socioeconómicas de cada país, pero a menudo incluyen el uso de subsidios económicos para promover cambios en el uso de la tierra (Harou, 2002), la diversificación de las actividades humanas (Pamo, 1998) y el establecimiento de programas para mejorar la educación y el bienestar de las personas (Vogel y Smith, 2002). Esta última actuación es de vital importancia ya que una de las principales causas de la desertificación en los países en vías de desarrollo es el aumento de la presión sobre los recursos naturales derivada de la elevada tasa de natalidad que presentan estos países (Le Houérou, 1996; Geist y Lambin, 2004). Existen numerosos ejemplos de lugares donde se ha conseguido controlar la natalidad y promover el desarrollo de sistemas de producción sustentables en zonas desertificadas (Arkut, 1995; Vogel y Smith, 2002), que indican que con los recursos apropiados y con voluntad política pueden controlarse algunos de los principales agentes causales de la desertificación.

Las actividades de seguimiento y muestreo están siendo cada vez más importantes en la gestión de las zonas afectadas por la desertificación. El establecimiento de programas de seguimiento a largo plazo es una manera efectiva de evaluar el estado de los recursos naturales y la evolución de los procesos de desertificación. Estos programas son de gran utilidad para

detectar cambios tempranos en la estructura y funcionamiento del ecosistema que indiquen la presencia de desertificación, lo que permite establecer medidas de gestión efectivas y económicamente viables (Fernández *et al.*, 2002). Pese a su innegable utilidad, la precariedad económica que caracteriza a los países en vías de desarrollo impide su aplicación en estas áreas a menos que reciban apoyo económico externo.

En los últimos años se ha dedicado un esfuerzo creciente al desarrollo de métodos de evaluación basados en indicadores edáficos y de la vegetación (Tongway, 1995; Tongway y Hindley, 1995; Pyke *et al.*, 2002; Herrick *et al.*, 2005). Estos métodos se basan en la toma de datos sobre atributos de la vegetación y el suelo (ej. cobertura, patrón espacial, resistencia a la penetración y textura) clave a la hora de determinar la resiliencia del ecosistema frente a la erosión y su capacidad de retener y reciclar el agua y los nutrientes. Un objetivo común de los distintos métodos propuestos es el de minimizar los conocimientos y recursos materiales necesarios para su aplicación, de modo que puedan ser ampliamente utilizados tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. Asimismo se han producido importantes avances en el desarrollo de metodologías para aprovechar la información proporcionada por las imágenes aéreas y de satélite, que han sido empleadas con éxito en la evaluación de procesos de desertificación en los Estados Unidos (Asner y Heidebrecht, 2005), Latinoamérica (Asner *et al.*, 2003), África (Prince *et al.*, 1998), Australia (Bastin *et al.*, 2002), China (Wu & Ci, 2002) y Europa (Imeson y Prinsen, 2004), por citar sólo algunos ejemplos. Estos métodos se basan a menudo en evaluar las mismas propiedades edáficas y de la cubierta vegetal en las que se basan los métodos que toman datos sobre el terreno, aunque permiten el establecimiento de programas de muestreo a una escala espacial mayor. No obstante, su uso requiere de equipamiento costoso y de una formación adecuada, dos factores que no están disponibles en todos los países. Pese a ello, la combinación de aproximaciones basadas en el uso de imágenes de satélite e indicadores evaluados sobre el terreno tiene grandes perspectivas para avanzar en el establecimiento de programas de muestreo efectivos y económicamente viables en las zonas áridas.

Mientras que es de esperar que el establecimiento de políticas y programas de gestión para minimizar y evitar la desertificación se incremente en el futuro, la realidad es que buena parte de las zonas áridas se encuentran degradadas en mayor o menor medida (Kassas, 1995; Dregne, 1996; Darkoh, 1998; Reynolds y Stafford Smith, 2002a). Ante esta situación, el establecimiento de programas de restauración está cobrando especial importancia (Whisenant, 1999; Cortina *et al.* 2004). Las actividades de restauración en estas áreas se han centrado tradicionalmente en los componentes biofísicos del ecosistema y, en concreto, en aumentar la cubierta vegetal y en reducir la erosión. A menudo, e independientemente de los agentes que han originado la desertificación, la restauración se basa en la reintroducción o aumento de la cobertura de vegetación leñosa (López Cadenas, 1998; Whisenant, 1999; Rojo, 2000), que es considerada como un factor clave para evitar que avance la desertificación y para promover la recuperación de la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema (Vallejo *et al.*, 2000; Reynolds, 2001). Este aumento se ha conseguido principalmente mediante la utilización de repoblaciones forestales, que han plantado millones de hectáreas de árboles (principalmente coníferas) en las zonas áridas de países como España, Turquía, Marruecos, Argelia, Argentina y China (Richardson, 1998; Pausas *et al.*, 2004; Sanchez-Martínez y Gallego-Simón, 1993; Gao *et al.*, 2001). Pese a que existen ejemplos en los que estas repoblaciones han sido exitosas (Cortina *et al.*, 2004), en numerosas ocasiones han derivado en un aumento de las tasas de degradación y desertificación de las zonas en los que se han aplicado (Chaparro, 1994; Odera, 1996; Maestre y Cortina, 2004a), lo que ha generado un notable debate sobre la idoneidad de su utilización (Ortuño, 1990; Esteve *et al.*, 1990; Andrés y Ojeda, 2002; Maestre y Cortina, 2004a). En otros casos la restauración de áreas desertificadas lleva consigo el establecimiento de cambios en el uso de la tierra (Pyke *et al.*, 2002; Sørbo, 2003). Estas medidas son a menudo ejecutadas sin un buen conocimiento de los mecanismos causales involucrados en la desertificación, o sin apreciar las condiciones socioeconómicas de las zonas afectadas, lo que ha propiciado que en numerosas ocasiones hayan fracasado (Herrick *et al.*, 1997). Los numerosos fallos registrados durante el establecimiento de programas de restauración ponen de manifiesto la necesidad de mejorar estas actuaciones. Para ello, dichos programas deberían de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Es fundamental tener un buen conocimiento de los agentes biofísicos y socioeconómicos que están causando la desertificación en la zona a restaurar.
- Los avances en el conocimiento sobre la composición, estructura y función del ecosistema deben ser incorporados en la medida en que sea posible en la restauración. En este sentido, recientes estudios han demostrado el potencial de utilizar estos atributos ecosistémicos para mejorar las actividades de restauración (ej. Tongway y Ludwig, 1996; Whisenant, 1999; Maestre *et al.*, 2001, 2003; Holmgren y Scheffer, 2001; Maestre y Cortina, 2004b; Cortina *et al.*, 2004; Gómez Aparicio *et al.*, 2004; Tongway *et al.*, 2004). No obstante, aún debe avanzarse considerablemente en la transferencia de los resultados de la investigación a los gestores del territorio para que esta incorporación sea efectiva.
- Las características socio-económicas de las zonas afectadas deben ser cuidadosamente evaluadas e incorporadas en las actividades de restauración.
- El éxito potencial de las actuaciones previstas debe evaluarse de antemano, con el fin de priorizar las zonas a restaurar y de optimizar los recursos económicos disponibles.
- En los casos en los que sea posible deben utilizarse las mejores técnicas disponibles en la restauración (véase Cortina *et al.*, 2004 para una reciente revisión sobre el tema).

Mirando hacia el futuro: retos en el estudio de la desertificación y la gestión de áreas desertificadas

Durante las últimas décadas se han producido tremendos avances conceptuales, metodológicos y tecnológicos para ayudar a los gestores del territorio a establecer medidas de gestión apropiadas para las zonas áridas. No obstante, los distintos programas que se han puesto en marcha para combatir la desertificación no han sido todo lo efectivos que se esperaba (Le Houérou, 1996). Existen muchas razones para ello, incluyendo la falta de recursos económicos y de voluntad política, las limitaciones tecnológicas, la falta de participación de la gente directamente implicada, el aumento de la aridez en numerosas zonas y el continuo debate sobre todo lo que rodea a la desertificación, que se ha visto alimentado por la falta de un marco conceptual coherente e integrador (Chasek and Corell, 2002; Corell, 1999; Toulmin, 2001; Reynolds y Stafford Smith, 2002a). Pensamos que el PDD constituye un marco conceptual sintético y pluriescalar idóneo para abordar los aspectos biofísicos y socioeconómicos de la desertificación. Pese a que todavía se encuentra en su infancia -y ciertamente tiene limitaciones-, tiene un gran potencial para permitir el avance del conocimiento sobre la desertificación, lo que en último término proporcionará a los gestores del territorio con herramientas apropiadas para gestionar las zonas desertificadas en las distintas regiones del mundo.

Aunque breve, la presente revisión ha puesto de manifiesto la complejidad, importancia y controversia que rodea a la desertificación, así como el hecho de que constituye un fenómeno que comprende aspectos biofísicos y socioeconómicos. Así pues, los investigadores deben de ser conscientes de la necesidad de analizar sus múltiples dimensiones simultáneamente, algo que sólo puede conseguirse mediante el establecimiento de grupos de trabajo multidisciplinares. Conviene mencionar que el incremento de la interacción entre científicos de las ciencias sociales y naturales no es una necesidad exclusiva de la investigación en materia de desertificación, ya que está considerado como un paso fundamental para aumentar el impacto y la utilidad de la investigación realizada en otras áreas de la ecología (Palmer *et al.*, 2004; Zamora, 2005). El reto de construir los puentes necesarios para mejorar la comunicación entre científicos pertenecientes a distintas disciplinas es enorme, así como los beneficios que se obtendrán en el avance de nuestra comprensión sobre la desertificación y, por consiguiente, en el establecimiento de políticas de gestión efectivas basadas en la mejor ciencia disponible.

Pese a que el establecimiento de aproximaciones multidisciplinares es una de las principales medidas a fomentar, el estudio de la desertificación desde la perspectiva de una disciplina dada, bien sea de las ciencias naturales o sociales, constituirá seguramente el grueso de la investigación futura en materia de desertificación. En este sentido, un aspecto que deberá impulsarse es el de realizar síntesis cuantitativas que analicen los resultados de los numerosos estudios de caso realizados hasta la fecha. Después de varias décadas de investigación, la literatura está llena de evidencia empírica sobre las causas y consecuencias de la desertificación desde el punto de vista de las ciencias sociales y naturales. Asimismo, existen numerosas revisiones cualitativas y monografías sobre virtualmente todo los aspectos que rodean a la desertificación (Thomas y Middleton, 1994; Kassas, 1995; Le Houérou, 1996, Fredrickson, *et al.* 1998; Puigdefábregas y Mendizábal, 1998; Puigdefábregas, 1998; Dregne, 2002). No obstante, muy pocas síntesis cuantitativas han sido publicadas hasta la fecha (Geist, 2005; Geist y Lambin, 2004). Estas síntesis, denominadas genéricamente meta-análisis, permiten a los investigadores destilar los resultados de la literatura de una manera más objetiva que la que se consigue con el uso de revisiones narrativas (Rosenberg *et al.*, 2000) y a menudo revelan patrones en los datos que son difíciles de obtener con estas últimas.

Otro aspecto que debe ser tenido en cuenta en el futuro es el del aumento del diálogo entre los científicos y gestores implicados en todo lo que rodea a la desertificación. Los investigadores deben tener en cuenta las limitaciones del mundo real y las actuaciones reales de gestión deben ser evaluadas para evaluar las teorías y conocimientos actuales. La investigación en desertificación es un área particularmente idónea para aplicar técnicas de gestión adaptativa y, por consiguiente, los vínculos entre la investigación y la gestión deben de ser fuertes. También debe tenerse en cuenta que el establecimiento de medidas de gestión apropiadas para combatir la desertificación requiere el esfuerzo conjunto de científicos de las ciencias sociales y naturales, quienes tradicionalmente han estudiado las dimensiones socioeconómicas y biofísicas de la desertificación por separado, así como la colaboración internacional entre los países desarrollados y aquellos en vías de desarrollo.

El incremento en la utilización de los distintos componentes descritos en párrafos precedentes (un marco conceptual sintético e integrador, una aproximación multidisciplinar, una mayor colaboración internacional y un mayor intercambio de información entre científicos y gestores) contribuirá, sin duda alguna, a progresar de manera significativa en la comprensión de la desertificación, en el establecimiento de medidas efectivas encaminadas a prevenirla y en la puesta en marcha de políticas de actuación encaminadas a gestionar de una manera más apropiada aquellas zonas afectadas por este complejo y multidimensional fenómeno.

Agradecimientos

La investigación subyacente a esta revisión ha sido financiada por la National Science Foundation (NSF-DEB-02-34186) y por el Centro para el Estudio Integrado de las Dimensiones Humanas del Cambio Global mediante un acuerdo entre la National

Science Foundation (SBR-9521914) y la universidad Carnegie Mellon. El trabajo de F. T. Maestre ha sido financiado por una beca Fulbright, financiada por la Secretaría de Estado de Universidades y el Fondo Social Europeo.

Referencias

- Andrés, C. y Ojeda, F. 2002. Effects of afforestation with pines on woody plant diversity of Mediterranean heathlands in southern Spain. *Biodiversity & Conservation* 11: 1511-1520.
- Arkutu, A. 1995. Family planning in Sub-Saharan Africa: Present status and future strategies. *International Journal of Gynecology and Obstetrics* 50: S27-S34.
- Asner, G. P., Borghi, C. E. y Ojeda, R. A. 2003 Desertification in central Argentina: Changes in ecosystem carbon and nitrogen from imaging spectroscopy. *Ecological Applications* 13: 629-648.
- Asner, G. P. y Heidebrecht, K. B. 2005. Desertification alters regional ecosystem-climate interactions. *Global Change Biology* 11: 182-194.
- Bastin, G., Ludwig, J. A., Eager, R. W., Chewings, V. H. y Liedloff, A. C. 2002. Indicators of landscape function: comparing patchiness metrics using remotely-sensed data from rangelands. *Ecological Indicators* 1: 243-260.
- Batterbury, S. P. J., Behnke, R. H., Döll, P. M., Ellis, J. E., Harou, P. A., Lynam, T. J. P., Mtimet, A., Nicholson, S. E., Obando, J. A. y Thornes, J. B. 2002. Responding to desertification at the national scale: detection, explanation, and responses. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 357-386, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.
- Belnap, J. y Eldridge, D. J. 2001. Disturbance and recovery of biological soil crusts. En *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management* (eds. Belnap, J. y Lange, O. L.), pp. 363-384, Springer Verlag, Berlin, Alemania.
- Bestelmeyer, B. T. 2005. Does desertification diminish biodiversity? Enhancement of ant diversity by shrub invasion in South-western USA. *Diversity and Distributions* 11: 45-55.
- Bollig, M. y Schulte, A. 1999. Environmental change and pastoral perceptions: Degradation and indigenous knowledge in two African pastoral communities. *Human Ecology* 27: 493-514.
- Chaparro, J. 1994. *Consecuencias ambientales de repoblaciones forestales mediante aterrazamientos en ambientes semiáridos*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Murcia, España.
- Chasek, P. y Corell, E. 2002. Addressing desertification at the international level: the institutional system. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 275-296, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.
- Corell, E. 1999. *The Negotiable Desert: Expert Knowledge in the Negotiations of the Convention to Combat Desertification*. Linköping Studies in Arts and Science No. 191. Linköping University, Linköping, Suecia.
- Cortina, J., Bellot, J., Vilagrosa, A., Caturla, R., Maestre, F. T., Rubio, E., Martínez, J. M. y Bonet, A. (2004) Restauración en semiárido. En *Avances en el Estudio de la Gestión del Monte Mediterráneo* (eds. Vallejo, R. y Alloza, J. A.), pp. 345-406. Fundación CEAM, Valencia, España.
- Darkoh, M. B. K. 1998. The nature, causes and consequences of desertification in the drylands of Africa. *Land Degradation & Development* 9: 1-20.
- Del Valle, H. F., Elissalde, N. O., Gagliardini, D. A. y Milovich, J. 1998. Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 12: 95-122.
- Dregne, H. E. 1996. Desertification: challenges ahead. *Annals of Arid Zone* 35: 305-311.
- Dregne, H.E. 2002. Land degradation in the drylands. *Arid Land Research and Management* 16: 99-132.
- Esteve, M. A., Ferrer, D., Ramírez-Díaz, L., Calvo, J. F., Suárez, M. L. y Vidal-Abarca, M. R. 1990. Restauración de la

vegetación en ecosistemas áridos y semiáridos: algunas reflexiones ecológicas. *Ecología*, Fuera de Serie 1: 497-510.

Fernández, R. J., Archer, E. R. M., Ash, A. J., Dowlatabadi, H., Hiernaux, P. H. Y., Reynolds, J. F., Vogel, C. H., Walker, B. H. y Wiegand, T. 2002. Degradation and recovery in socio-ecological systems: a view from the household/farm level. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 297-324, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.

Fredrickson, E., Havstad, K. M., Estell, R. y Hyder, P. 1998. Perspectives on desertification: South-western United States. *Journal of Arid Environments* 39:191-207.

Fuller, D. O. y Ottke, C. 2002. Land cover, rainfall and land-surface albedo in West Africa. *Climatic Change* 54: 181-204.

Gallart, F., Llorens, P. y Latron, J. 1994. Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology* 159: 291-303.

Gao, J., Zha, Y. y Ni, S. 2001. Assessment of the effectiveness of desertification rehabilitation measures in Yulin, north-western China using remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 22: 3783-3795.

Geist, H. J. 2005. *The causes and progression of desertification*. Ashgate Studies in Environmental Policy and Practice, Burlington, Estados Unidos.

Geist, H. J. y Lambin, E. F. 2004. Dynamic causal patterns of desertification. *Bioscience* 54: 817-829.

Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., Gómez, J.M., Hódar, J.A., Castro, J. y Baraza, E. 2004. Applying plant positive interactions to reforestation in Mediterranean mountains: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications* 14: 1128-1138.

Gonzalez, P. 2001. Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Climate Research* 17: 217-228.

Grainger, A., Stafford Smith, M., Squires, V. y Glenn, E. 2000. Desertification and climate change: the case for greater convergence. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5: 361-377.

Harou, P. A. 2002. What is the role of markets in altering the sensitivity of arid land systems to perturbation? En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 253-274, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.

Herrick, J. E., Havstad, K. M. y Coffin, D. P. 1997. Rethinking remediation technologies for desertified landscapes. *Journal of Soil and Water Conservation* 52: 220-225.

Herrick, J. E. Van Zee, J. W., Havstad, K. M. y Whitford, W. G. 2005. *Monitoring Manual for Grassland, Shrubland, and Savanna Ecosystems. Volume II: Design, Supplementary Methods and Interpretation*. USDA-ARS, Las Cruces, Estados Unidos. Disponible en: http://usda-ars.nmsu.edu/Monit_Assess/monitoring.php.

Holmgren, M. y Scheffer, M. 2001. El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems* 4: 151-149.

Huber-Sannwald, E., Maestre, F. T., Herrick, J. E. y Reynolds, J. F. 2005. Ecohydrological feedbacks and linkages associated with land degradation: A case study from Mexico. *Hydrological Processes* (en revisión).

Huenneke, L. F., Anderson, J. P., Remmenga, M. y Schlesinger, W. H. 2002. Desertification alters patterns of aboveground net primary production in Chihuahuan ecosystems. *Global Change Biology* 8: 247-264.

Imeson, A. C. y Prinsen, H. A. M. 2004. Vegetation patterns as biological indicators for identifying runoff and sediment source and sink areas for semi-arid landscapes in Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104: 333-342.

Jackson, R. B., Banner, J. L., Jobbagy, E. G., Pockman, W. T. y Wall, D. H. 2002. Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature* 418:623-626.

Kassas, M. 1995. Desertification: a general review. *Journal of Arid Environments* 30: 115-128.

- Kelley, D. W. y Nater, E. A. 2000. Historical sediment flux from three watersheds into Lake Pepin, Minnesota, USA. *Journal of Environmental Quality* 29:561-568.
- Krogh, S. N., Zeisset, M. S., Jackson, E. y Whitford, W. G. 2002. Presence/absence of a keystone species as an indicator of rangeland health. *Journal of Arid Environments* 50: 513-519.
- Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation and Development* 12: 519-539.
- Lambin, E. F., Chasek, P. S., Dowing, T. E., Kerven, C., Kleidon, A., Leemans, R., Lüdeke, M., Prince, S. D. y Xue, Y. 2002. The interplay between international and local processes affecting desertification. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 387-402, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.
- Landa, R., Meave, J. y Carabias, J. 1997. Environmental deterioration in rural Mexico: An examination of the concept. *Ecological Applications* 7: 316-329.
- Latchinsky, A. y Gapparov, F. A. 1996. Consequences of the Aral sea's drying up on the regional locust situation. *Secheresse* 7:109-113.
- Lavee, H., Imeson, A. C. y Sarah, P. 1998. The impact of climate change on geomorphology and desertification along a mediterranean-arid transect. *Land Degradation & Development* 9: 407-422.
- Le Houérou, H. N. 1996. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments* 34: 133-185.
- Leach, M. y Mearns, R. (eds) 1996. *The Lie of the Land: Challenging Received Wisdom on the African Environment*. Heinemann Press, Portsmouth, USA.
- Liu, Y., Gao, J. y Yang, Y. 2003. A holistic approach towards assessment of severity of land degradation along the great wall in northern Shaanxi Province, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 82: 187-202.
- López Cadenas, F. (director) 1998. *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Tragsa, Tragsatec, Ministerio de Medio Ambiente y Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España.
- Maestre, F. T., Bautista, S., Cortina, J. y Bellot, J. 2001. Potential of using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications* 11: 1641-1655.
- Maestre, F. T. y Cortina, J. 2004a. Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas? *Forest Ecology and Management* 198: 303-317.
- Maestre, F. T. y Cortina, J. 2004b. Insights on ecosystem composition and function in a sequence of degraded semiarid steppes. *Restoration Ecology* 12:494-502.
- Maestre, F. T., Cortina, J., Bautista, S., Bellot, J. y Vallejo, R. 2003. Small-scale environmental heterogeneity and spatiotemporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem. *Ecosystems* 6: 630-643.
- Middleton, N. J. y Thomas, D. S. G. (eds). 1997. *World Atlas of Desertification*. U.N. Environment Programme, Edward Arnold, New York, USA.
- Odera, J. 1996. L'état de dégradation actuel des écosystèmes fragiles dans les zones sèches et le rôle de la foresterie dans la restauration, Note de secrétariat n° 1. Réunion Internationale d'experts sur la restauration des écosystèmes forestiers dégradés. Portuguese Ministry of Agriculture, UNP/UNSO, IPF, CCD & RIOD. Lisboa, Portugal.
- Ortuño, F. 1990. El plan para la repoblación forestal de España del año 1939. Análisis y comentarios. *Ecología*, Fuera de Serie 1: 373-392.
- Oussedik, A., Iftene, T. y Zegrar, A. 2003. Realisation par teledetection de la carte d'Algerie de sensibilite a la desertification. *Secheresse* 14: 195-201.
- Palmer, M.A. et al. 2004. Ecological Science and sustainability for a crowded planet. Informe de la Ecological Society of

America. Disponible en: www.esa.org/ecovisions.

Pamo, E. T. 1998. Herders and wildgame behaviour as a strategy against desertification in northern Cameroon. *Journal of Arid Environments* 39:179-190.

Pausas, J. G., Bladé, C., Valdecantos, A., Seva, J., Fuentes, D., Alloza, J., Vilagrosa, A., Bautista, S., Cortina, J. y Vallejo, R. 2004. Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice. *Plant Ecology* 171:209-220.

Pidgeon, A. M., Mathews, N. E., Benoit, R. y Nordheim, E. V. 2001. Response of avian communities to historic habitat change in the northern Chihuahuan Desert. *Conservation Biology* 15:1772-1788.

Prince, S. D. 2002. Spatial and temporal scales for detection of desertification. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 23-40, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.

Prince, S. D., de Colstoun, E. B. y Kravitz, L. L. 1998. Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive Sahelian desertification. *Global Change Biology* 4:359-374.

Puigdefábregas, J. 1995. Desertification: Stress beyond resilience, exploring a unifying process structure. *Ambio* 24: 311-313.

Puigdefábregas, J. 1998. Ecological impacts of global change on drylands and their implications for desertification. *Land degradation & Development* 9: 393-406.

Puigdefábregas, J. y Mendizábal, T. 1998. Perspectives on desertification: Western Mediterranean. *Journal of Arid Environments* 39: 209-224.

Pyke, D. A., Herrick, J. E., Shaver, P. L. y Pellant, M. 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management* 55:584-597.

Reynolds, J. F. 2001. Desertification. En *Encyclopedia of Biodiversity, Volume 2* (ed. Levin, S.A.), pp 61-78, Academic Press, San Diego, USA.

Reynolds, J.F., F. T. Maestre, P. R. Kemp, D. M. Stafford-Smith & E. Lambin. 2005. Natural and human dimensions of land degradation in drylands: causes and consequences. En *GCTE Synthesis Book, Terrestrial Ecosystems in a Changing World* (eds. Canadell, J., Pataki, D. y Pitelka, L.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido (en prensa).

Reynolds, J. F. y Stafford Smith, D. M. 2002a. Do humans cause deserts? En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 1-22, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.

Reynolds, J. F. y Stafford Smith, D. M. (eds). 2002b. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?*. Dahlem University Press, Berlin, Alemania.

Reynolds, J. F., Stafford Smith, D. M. y Lambin, E. F. 2003. ARIDnet: Seeking novel approaches to desertification and land degradation. *IGBP Global Change Newsletter* 54: 5-9. Disponible en: <http://www.igbp.kva.se/cgi-bin/php/frameset.php>.

Richardson, D. M. (ed.). 2000. *Ecology and biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Robbins, P. F., Abel, N., Jiang, H., Mortimore, M., Mulligan, M., Orkin, G. S., Stafford Smith, D. M. y Turner B. L. II. 2002. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 325-355, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.

Rojo, L. 2000. Managing desertification in a national context. En *Desertification in Europe: mitigation strategies, land use planning* (eds. Enne, G., Zanolla, Ch. y Peter, D), pp. 240-248. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo.

Rosenberg, M. S., Adams, D. C. y Gurevitch, J. 2000. *MetaWin: Statistical Software for Meta-Analysis*. Version 2. Sinauer Associates, Sunderland, USA.

Rosenfeld, D., Rudich, Y. y Lahav, R. 2001. Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop.

Proceedings of the National Academy of the Sciences USA 98:5975-5980.

Sánchez Martínez, J. D. y Gallego Simón, V. J. 1993. *La Política de repoblación forestal en España, siglos XIX y XX: Planteamientos, Actuaciones y resultados, estado de la cuestión y recopilación bibliográfica*. MAPA. Secretaria General Técnica. Serie Recopilaciones Bibliográficas n° 10., Madrid

Schlesinger, W. H., Abrahams, A. D., Parsons, A. J. y Wainwright, J. 1999. Nutrient losses in runoff from grassland and shrubland habitats in Southern New Mexico: I. rainfall simulation experiments. *Biogeochemistry* 45: 21-34.

Schlesinger, W. H. Reynolds, J. F. Cunningham, G. L. Huenneke, L. F., Jarrel, W. M., Virginia, R. A. y Whitford, W. G. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247: 1043-8.

Sharma, K. D. 1998. The hydrological indicators of desertification. *Journal of Arid Environments* 39:121-132.

Sørbo, G. M. 2003. Pastoral ecosystems and the issue of scale. *Ambio* 32:113-117.

Stafford Smith, D. M. y Reynolds, J. F. 2002. The Dahlem Desertification Paradigm: A new approach to an old problem. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 403-424, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.

Stocking, M. y Murnaghan, N. 2001. *Handbook for the Field Assessment of Land Degradation*. Earthscan, London, UK.

Symeonakis, E. y Drake, N. 2004. Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa. *International Journal of Remote Sensing* 25: 573-592.

Thomas, D. S. G. 1997. Science and the desertification debate. *Journal of Arid Environments* 37:599-608.

Thomas, D. S. G. y Middleton, N. 1994. *Desertification: Exploding the Myth*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Tongway, D. J. 1995. Monitoring soil productive potential. *Environmental Monitoring and Assessment* 37: 303-318.

Tongway, D. J., Cortina, J. y Maestre, F. T. 2004. La gestión de la heterogeneidad en medios semiáridos. [Ecosistemas 2004/1](#)

Tongway, D. J. y Hindley, N. 1995. *Assessment of soil condition of tropical grasslands*. CSIRO Ecology and Wildlife, Canberra, Australia.

Tongway, D. J. y Ludwig, J. A. 1996. Rehabilitation of semiarid landscapes in Australia I. Restoring productive soil patches. *Restoration Ecology* 4: 388-397.

Toulmin, C. 2001. *Lessons from the theatre: Should this be the final curtain call for the Convention to Combat Desertification?* WSSD Opinion Series. International Institute for Environment and Development. Disponible en www.iied.org.

UNCCD. 1994. *United Nations Convention to Combat Desertification, Intergovernmental Negotiating Committee For a Convention to Combat Desertification, Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*. U.N. Doc. A/AC.241/27, 33 I.L.M. 1328. United Nations, New York, USA.

UNCCD. 2000. *Fact Sheet 2: The Causes of Desertification*. United Nations Secretariat of the Convention to Combat Desertification. Disponible en <http://www.unccd.int/publicinfo/factsheets/showFS.php?number=2>.

Vallejo, V. R., Serrasolses, I., Cortina, J. Seva, J. P., Valdecantos, A. y Vilagrosa, A. 2000. Restoration strategies and actions in Mediterranean degraded lands. En *Desertification in Europe: Mitigation Strategies, Land Use Planning* (eds. Enne, G., Zanolla Ch. y Peter, D.), pp. 221-233. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Van Auken, O.W. 2000. Shrub invasion of North American semiarid grasslands. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31: 197-215.

Vogel, C. H. y Smith, J. 2002. Building social resilience in arid ecosystems. En *Global Desertification: Do Humans Cause*

- Deserts?* (eds. Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M.), pp. 149-166, Dahlem University Press, Berlin, Alemania.
- von Hardenberg, J., Meron, E., Shachak, M. y Zarmi, Y. 2001. Diversity of vegetation patterns and desertification. *Physical Review Letters* 87:198101-1-198101-4
- Whisenant, S. G. 1999. *Repairing Damaged Wildlands*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Whitford, W. G. 1993. Animal feedbacks in desertification: An overview. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 243-251.
- Whitford, W. G. 1997. Desertification and animal biodiversity in the desert grasslands of north America. *Journal of Arid Environments* 37:709-720.
- Wu, B. y Ci, L. J. 2002. Landscape change and desertification development in the Mu Us Sandland, Northern China. *Journal of Arid Environments* 50: 429-444.
- Zaman, S. 1997. Effects of rainfall and grazing on vegetation yield and cover of two arid rangelands in Kuwait. *Environmental Conservation* 24:344-350.
- Zamora, R. 2005. Aquí y ahora: una llamada al compromiso y la acción. *Ecosistemas* 2005/2 (URL: www.revistaecosistemas.net)
- Zhang, Y. y Liu, H. 1998. Potential of TM imagery for monitoring and assessment of desertified land. *Forest Research* 11: 599-606.
- Zhao, W. Z., Xiao, H. L., Liu, Z. M. y Li, J. 2005. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. *Catena* 59:173-186.